

ECFA

COMITÉ EUROPÉEN SUR LES FUTURS ACCÉLÉRATEURS

RAPPORT 1967

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	v
CHAPITRE I: Historique et recommandations.	1
Historique	1
Recommandations	1
1. <i>Le synchrotron à protons de 300 GeV.</i>	
2. <i>Collaboration entre les établissements internationaux et les universités et laboratoires nationaux.</i>	
3. <i>Développement des activités nationales.</i>	
4. <i>Effectifs du programme d'ensemble.</i>	
5. <i>Répartition des dépenses entre les activités nationales et internationales.</i>	
CHAPITRE II: Le cadre scientifique	4
1. Introduction	4
<i>Exposé sur l'importance et le développement de la physique des hautes énergies en Europe.</i>	
2. Le projet d'accélérateur de 300 GeV	6
<i>Importance pour la physique du projet d'accélérateur de 300 GeV et son rôle particulier pour la recherche et l'enseignement en Europe.</i>	
3. Les programmes nationaux et régionaux	8
<i>Justification des programmes nationaux d'accélérateurs, complétant le programme international.</i>	
CHAPITRE III: Construction du synchrotron à protons de 300 GeV	9
1. Conception de l'accélérateur	9
<i>Exposé des conclusions et suggestions du Groupe de Travail 2 sur la conception de l'accélérateur et sur les crédits et effectifs nécessaires.</i>	
2. Sites	13
<i>Critères techniques et sociologiques d'un bon site.</i>	
CHAPITRE IV: Utilisation du synchrotron à protons de 300 GeV	15
<i>Exposé relatif aux études de l'utilisation de l'accélérateur et aux conclusions du Groupe de Travail 2 concernant un programme expérimental qui pourrait être élaboré et réalisé dans la limite des crédits et des effectifs déjà prévus.</i>	
CHAPITRE V: Schéma des crédits et du personnel nécessaires pour le Laboratoire de 300 GeV	22
<i>Tableaux indiquant les coûts annuels du Laboratoire au cours de la période de construction et des cinq années suivantes, ainsi que l'effectif nécessaire au cours de la même période.</i>	
CHAPITRE VI: Fonctionnement des laboratoires internationaux.	24
1. L'avenir du CERN-Meyrin	24
<i>L'évolution possible de l'exploitation et du coût du CERN-Meyrin dans les années 1970, en fonction de l'achèvement des ISR et des projets d'améliorations, et la suite de la mise en service du PS de 300 GeV et d'autres machines.</i>	
2. Exploitation future des laboratoires internationaux	26
<i>Recommandation en vue d'assurer une participation suffisante des groupes extérieurs à la planification et à l'exécution du programme international.</i>	

CHAPITRE VII: Situation actuelle des programmes nationaux.	27
1. La recherche au CERN et dans les Etats Membres.	27
<i>Analyse des diverses activités des Etats Membres et renseignements concernant les crédits et effectifs consacrés en 1966, dans chaque pays, au CERN et aux accélérateurs nationaux.</i>	
2. Accélérateurs nationaux	31
<i>Bref exposé, avec tableau, sur les accélérateurs nationaux en service; rappel de quelques projets.</i>	
CHAPITRE VIII: Conclusions et recommandations sur le développement des programmes nationaux de physique des hautes énergies à courte et à plus longue échéance	32
<i>Ce chapitre examine les renseignements recueillis au Chapitre précédent: on en déduit le niveau que doit atteindre dans les Etats Membres l'effort consacré aux activités qui soutiennent l'œuvre des laboratoires internationaux. Il contient une recommandation concernant l'amélioration et le renouvellement des accélérateurs nationaux, ainsi que les conditions spéciales qui s'appliqueront aux activités des petits pays à l'avenir.</i>	
CHAPITRE IX: Modèle possible de programme européen: coûts et effectifs, 1966-1981	34
<i>Crédits et effectifs nécessaires au cours des années 1966-1981 pour le laboratoire du PS de 300 GeV et pour un programme limité d'amélioration et de renouvellement des accélérateurs nationaux.</i>	
ANNEXE 1	39
<i>Noms des membres de l'ECFA et de ses divers groupes, avec le calendrier des réunions.</i>	
ANNEXE 2	43
<i>Résolution de l'ECFA à l'intention du Conseil — juin 1966. (CERN/ECFA 66/4/Rev. 3, CERN/650)</i>	
ANNEXE 3	45
<i>Observations relatives aux effectifs proposés pour le laboratoire de 300 GeV (CERN/ECFA 67/WG2/LCWH-1)</i>	
ANNEXE 4	51
<i>Sommaire des études sur l'utilisation du synchrotron à protons européen de 300 GeV en projet.</i>	
ANNEXE 5	115
<i>Renseignements relatifs à la répartition des physiciens par âge, ainsi qu'au matériel disponible pour l'analyse des données au CERN et dans les Etats Membres, le 1er janvier 1967.</i>	

INTRODUCTION

En 1963, un Comité de physiciens européens avait été créé sous le nom de « Comité européen sur les futurs Accélérateurs (ECFA) ». Il avait pour tâche principale de soumettre des recommandations au sujet de la construction de nouveaux accélérateurs, dans le cadre national aussi bien qu'international. Le Comité, sous la présidence du Professeur E. Amaldi, avait chargé un groupe de travail de préparer un rapport sur la question. Les conclusions de ce groupe de travail, entérinées par l'ECFA, figurent dans le « Rapport du Groupe de Travail sur le Programme européen d'Accélérateurs de haute Energie » (CERN/505), publié le 12 juin 1963 et mentionné ci-après sous le nom de Rapport ECFA 1963. Ce rapport recommandait pour l'Europe les deux programmes suivants:

- A. Le programme « au sommet »: sont ainsi désignés les accélérateurs dont la construction et l'exploitation requièrent un effort commun de la part d'un grand nombre de nations européennes. Il était spécifiquement recommandé de construire:
 - a) des anneaux de stockage à intersections pour le synchrotron à protons du CERN à Meyrin;
 - b) un synchrotron à protons d'une énergie d'environ 300 GeV.
- B. Le programme « à la base de la pyramide »: sont désignées de la sorte les activités dans le domaine des hautes énergies à l'intérieur des Etats Membres (ou de groupements d'Etats Membres), en particulier la construction d'un certain nombre d'accélérateurs nationaux ou régionaux de types divers et le développement d'installations de traitement des données.

Depuis 1963 la situation a évolué de la manière suivante:

- a) La construction des anneaux de stockage à intersections (ISR) a été approuvée par le Conseil du CERN en juin 1965, en tant qu'élément principal d'un programme d'améliorations du Laboratoire de Meyrin.
- b) Un rapport technique sur le projet de synchrotron à protons de 300 GeV a été présenté par le CERN en 1964 (CERN/563), mais l'autorisation de construire n'a pas encore été donnée.
- c) Parmi les accélérateurs nationaux et régionaux dont la construction avait été suggérée en 1963, un est achevé, un est très avancé, trois sont encore à l'étude, mais les quatre autres n'ont guère progressé.
- d) L'importance de l'analyse des données s'est accrue et plusieurs centres bien équipés ont été créés en Europe.
- e) La participation de groupes extérieurs aux expériences du CERN faisant appel à des compteurs et autres techniques électroniques, qui était une exception en 1963, est devenue un aspect important du programme expérimental du Laboratoire.
- f) La possibilité de construire un accélérateur de très haute énergie dans le cadre d'une coopération mondiale a été l'objet de nouvelles discussions. Dans l'espoir de réaliser des progrès concrets, une réunion a eu lieu à Vienne en juillet 1964, avec la participation de savants et de hauts fonctionnaires des Etats-Unis, d'Europe et d'URSS. L'opinion générale qui s'est dégagée de cette réunion est qu'il appartient aux différents continents de prendre séparément l'initiative de la construction des accélérateurs de 200 ou 300 GeV, tandis que l'idée d'une collaboration intercontinentale devrait être retenue pour une phase ultérieure, par exemple la construction d'un accélérateur de 1000 GeV. Dans cette même perspective, les Etats-Unis préparent activement la construction d'un accélérateur de 200 GeV, tandis que l'URSS consacre d'importants moyens à l'achèvement de l'accélérateur de 70 GeV à Serpukhov.

- g) En Europe, les travaux se poursuivent sur les plans du synchrotron de 300 GeV, parallèlement à l'étude des emplacements proposés par les Etats Membres. En décembre 1966, les Etats Membres ont autorisé le Conseil du CERN à préparer des modifications à la Convention actuelle du CERN, en vue d'englober sous l'autorité d'un même Conseil le CERN-Meyrin et le Laboratoire de 300 GeV, de sorte qu'une décision puisse être prise à la fin de 1967.

Ces faits nouveaux ont incité le Directeur général du CERN, le Professeur V.F. Weisskopf, à recommander au Comité des Directives scientifiques du CERN, à l'automne de 1965, de convoquer de nouveau un comité dont la composition serait analogue à celle de l'ECFA de l'année 1963. Cet « ECFA 1966 », où siègent une soixantaine de physiciens et d'experts des accélérateurs, constituant un groupe représentatif des spécialistes dans les recherches afférentes à la physique des hautes énergies en Europe, a été invité à revoir la situation telle qu'elle a évolué depuis 1963 et à mettre à jour les recommandations qui avaient alors été formulées.

Le Comité s'est réuni pour la première fois le 7 mars 1966; le Professeur Amaldi a bien voulu en accepter à nouveau la présidence. Il y a eu cinq réunions plénières, une partie du travail préparatoire étant fait par le Comité dit « restreint » de l'ECFA, formé d'un représentant par Etat Membre, qui s'est réuni trois fois.

Pour s'acquitter de sa tâche, l'ECFA a constitué deux Groupes de Travail.

Le Groupe de Travail 1 a étudié la situation de la physique des hautes énergies dans les Etats Membres, et les formes actuelles et futures de la collaboration avec les Laboratoires du CERN. Il s'est réuni six fois et a dressé, au moyen d'un questionnaire détaillé envoyé aux différents laboratoires, un tableau général de la physique des hautes énergies dans les Etats Membres. A la suite de cette enquête, il a pu faire des recommandations précises, tant sur la structure que sur l'ampleur des programmes nationaux et internationaux, ainsi que sur les relations entre ces deux catégories.

Le Groupe de Travail 2 s'est réuni dix fois en tout et a entrepris:

- a) une étude critique du projet CERN d'accélérateur de 300 GeV (CERN/563), et
- b) un examen général des utilisations possibles de la machine.

Pour la première de ces tâches, six réunions ont eu lieu avec les membres du Groupe d'Etudes du CERN, au cours desquelles le Rapport technique a été examiné chapitre par chapitre.

Pour la seconde tâche, le Groupe de Travail 2 a décidé de demander à des physiciens appartenant à des laboratoires des Etats Membres du CERN de participer à une étude des utilisations possibles de l'accélérateur de 300 GeV: une soixantaine de physiciens ont répondu par l'affirmative, et cinq Sous-Groupes d'Etude des Utilisations ont été formés. Outre leurs réunions de travail, ces Sous-Groupes se sont retrouvés pour deux séances communes et pour une période d'études hivernale qui a eu lieu au CERN du 9 au 20 janvier 1967. Sur la base des travaux effectués par les Sous-Groupes d'Etude des Utilisations, le Groupe de Travail 2 a préparé un plan, maintenant approuvé par l'ECFA, pour l'exploitation initiale de la machine.

L'Annexe 1 (p. 39) donne les noms des membres de l'ECFA, des Groupes de Travail et des Sous-Groupes d'Etude des Utilisations, en même temps que le calendrier des réunions.

Lors de sa première réunion, l'ECFA 1966 a demandé à son président de faire part de ses activités aux scientifiques et aux laboratoires des hautes énergies n'appartenant pas aux Etats Membres du CERN, et de les inviter à envoyer des observateurs si tel était leur désir. En conséquence, les procès-verbaux de l'ECFA ont reçu une large diffusion

et des observateurs ont assisté aux réunions ultérieures (voir Annexe 1). Dans cette perspective, et pour rester fidèle à son épithète d'européen, l'ECFA considère qu'il est hautement souhaitable d'entretenir l'intérêt des autres pays européens dans les programmes présentés par ce rapport.

En avril 1966, l'ECFA est parvenu à un certain nombre de conclusions préliminaires. Elles ont été soumises au Comité des Directives scientifiques du CERN, qui les a approuvées et transmises au Conseil en tant que « Résolution de l'ECFA présentée à la session de juin 1966 du Conseil » (CERN/650). Ces recommandations sont jointes en Annexe 2 (p. 43).

D'une manière générale, l'ECFA 1966 confirme l'analyse et les conclusions que le Comité précédent avait formulées en 1963, avec les changements de détail qu'ont naturellement amenés entre temps l'évolution de la physique et de la technique. C'est la raison pour laquelle certains points qui avaient été abondamment traités en 1963 n'ont pas été repris d'une manière approfondie.

Un grand nombre de membres de l'ECFA ont le sentiment qu'il serait très utile de conserver à l'avenir un organe de ce type en activité, sous réserve des changements éventuellement nécessaires dans sa composition et ses attributions, tant pour pouvoir discuter de questions d'orientation générale que pour constituer un centre d'intérêt pour les physiciens européens qui se préoccupent de l'avenir des grands accélérateurs.

CHAPITRE I

HISTORIQUE ET RECOMMANDATIONS

Le présent chapitre résume les conclusions et recommandations auxquelles l'ECFA est parvenu en 1966-1967, et qui ont été approuvées lors de la réunion du 20 mars 1967. Le reste du rapport fournira les éléments à l'appui de ces conclusions.

HISTORIQUE

Depuis la fin du siècle dernier, les progrès de la physique ont permis, par étapes successives, de révéler les propriétés fondamentales de la matière, d'abord au niveau de la molécule et de l'atome, puis au niveau du noyau de l'atome. Le développement de la physique atomique et nucléaire a conduit à des découvertes dont la signification est d'une immense portée, tant pour les sciences de la nature que pour les technologies de pointe. L'étape suivante dans l'exploration de la structure de la matière vise à élucider la nature des forces fondamentales qui conditionnent les phénomènes nucléaires, et à analyser la structure intime des éléments constitutifs du noyau. Telle est la tâche de la physique des hautes énergies car, selon les lois de la physique, plus on veut explorer profondément la matière, plus on doit utiliser des énergies considérables.

La physique des hautes énergies, qui à l'origine utilisait les rayons cosmiques mais depuis deux décennies fait appel presque exclusivement aux accélérateurs de particules de haute énergie, a mis en évidence une grande abondance de phénomènes nouveaux, dont l'aspect le plus significatif est l'existence d'un grand nombre de particules qui possèdent de remarquables propriétés de régularité et de symétrie. La richesse et la variété de ce nouveau domaine de recherche en font l'une des parties les plus fondamentales et les plus actives de la physique moderne, tant du point de vue purement théorique que du point de vue des nouvelles techniques utilisées dans l'expérimentation et l'analyse des données.

Au cours des 40 premières années du vingtième siècle, l'Europe a été le théâtre des progrès principaux de la physique atomique et nucléaire, mais au début des années 1950, les Etats-Unis ont pris une avance de plus en plus grande en physique des hautes énergies, grâce à la construction et à l'exploitation rapide des premiers grands accélérateurs de particules. Heureusement, la décision prise par les pays européens en 1953 de mettre en commun sans délai les ressources humaines, techniques et financières de leur continent en vue de créer et d'exploiter le CERN, et notamment le synchrotron à protons de 28 GeV, a permis depuis à l'Europe de participer, à l'échelon le plus élevé et sur un pied d'égalité avec le reste du monde, à l'essor actuel de la physique des hautes énergies.

C'est à la lumière de cette situation générale que l'ECFA a formulé les recommandations qui suivent. Celles-ci ont pour but d'assurer que l'Europe puisse conserver au cours des prochaines décennies la place qu'elle a maintenant prise dans l'un des domaines les plus fondamentaux de la physique. Ce but pourra être atteint si ces recommandations sont suivies sans trop de retard. Les études détaillées déjà faites par les physiciens et ingénieurs européens sont suffisamment avancées pour que les décisions voulues puissent être prises.

RECOMMANDATIONS

1. Le synchrotron à protons de 300 GeV

L'ECFA recommande la construction en Europe d'un grand accélérateur de protons, dans les moindres délais possibles. Cette réalisation est essentielle si l'on veut que les savants européens continuent de participer aux progrès de la physique des hautes énergies jusque dans les années 1980.

- 1.1 En accord avec les recommandations de l'ECFA 1963, il est confirmé que les plans de la machine doivent prévoir une énergie de 300 GeV et une intensité de faisceau de 10^{13} protons/seconde.

- 1.2 L'ECFA estime que le projet décrit dans le document CERN/563, préparé par le Groupe d'Etudes du CERN, constitue une bonne base sur laquelle fonder la décision de construire un accélérateur de ce genre. Certains points dont on recommande une étude plus approfondie au stade final de la planification sont discutés dans les Chapitres III (p. 9) et IV (p. 15). Le laboratoire proposé, qui compterait au total un effectif de 2500 personnes à la mise en service de l'accélérateur, reviendrait à environ 1800 millions de francs suisses (aux prix de 1967), et sa réalisation demanderait $8\frac{1}{2}$ ans, dont 6 pour les travaux de construction.
- 1.3 L'ECFA estime que les crédits et les effectifs envisagés par le document CERN/563 seront suffisants, sous réserve de quelques petites modifications, pour construire l'accélérateur et organiser un programme expérimental bien conçu qui porte l'exploitation à un niveau satisfaisant au cours des quatre premières années de fonctionnement (Chapitre V, p. 22).

2. Collaboration entre les établissements internationaux et les universités et laboratoires nationaux

Le caractère international de laboratoires tels que le CERN-Meyrin et le PS de 300 GeV résulte de leurs dimensions et de leur prix, mais c'est dans les universités que se trouve le fondement même du progrès scientifique. L'ECFA recommande donc les mesures suivantes, destinées à permettre aux chercheurs européens des universités et des laboratoires nationaux de participer pleinement à l'utilisation des grands accélérateurs:

- 2.1 Les physiciens des universités et des instituts nationaux de recherche doivent avoir de multiples possibilités de participer, à tous les échelons, à la planification et à l'exécution des programmes expérimentaux et techniques des laboratoires internationaux.
- 2.2 Pour permettre au personnel scientifique des Etats Membres de participer au maximum aux activités de recherche, le personnel scientifique et technique permanent des laboratoires internationaux doit être limité au minimum compatible avec le déroulement efficace de l'ensemble du programme (Chapitre VI, 2, p. 26).
- 2.3 Les groupes venant des universités et des instituts nationaux doivent être suffisamment bien équipés pour pouvoir travailler avec les accélérateurs existants et avec l'accélérateur de 300 GeV avant même sa mise en service. Les incidences financières de cette recommandation sont discutées au titre 5 ci-dessous et dans les Chapitres VI, 2 et VIII (p. 32).
- 2.4 Les universités et les autorités des Etats Membres devraient prendre les mesures propres à faciliter les visites de leurs physiciens aux laboratoires internationaux, en prévoyant un nombre suffisant de suppléants pour les postes de l'enseignement et en prenant des dispositions pour autoriser des absences rémunérées sur court préavis. Les laboratoires internationaux doivent insister auprès des délégués des Etats Membres sur l'importance de ces mesures (Chapitre VI, 2).

3. Développement des activités nationales

Outre le CERN-Meyrin et, plus tard, l'accélérateur de 300 GeV, d'autres accélérateurs et appareils de grandes dimensions seront nécessaires pour assurer le développement harmonieux de la physique des hautes énergies. Il est souhaitable que ces machines soient construites dans le cadre de laboratoires nationaux et régionaux, et leur exploitation devrait également s'inspirer des principes énumérés au paragraphe 2.

- 3.1 L'ECFA estime qu'il est essentiel, au cours de la prochaine décennie, d'agrandir ou de construire autour de nouvelles machines plusieurs laboratoires de ce genre (Chapitre VIII, p. 32).
- 3.2 L'ECFA recommande que les Etats Membres participent conjointement à la construction et surtout à l'exploitation des accélérateurs nationaux existants ou futurs, quel que soit l'emplacement des laboratoires.

- 3.3 Les laboratoires nationaux et régionaux devraient également prendre les dispositions nécessaires pour préparer, dans les pays membres, l'équipement trop important pour être fabriqué dans les universités, et destiné à servir avec les accélérateurs internationaux.
- 3.4 Les échanges de personnel scientifique et technique entre les grands laboratoires, tant nationaux qu'internationaux, doivent être encouragés.

4. Effectifs du programme d'ensemble

L'ECFA a étudié en détail les effectifs actuels de physiciens expérimentateurs utilisant les accélérateurs internationaux, ainsi que les perspectives d'accroissement. Un modèle hypothétique mais prudent de programme européen de machines nationales et internationales a été adopté à cet effet.

En 1966, environ 800 physiciens expérimentateurs dépendaient exclusivement du CERN-Meyrin pour leurs recherches, tandis que 600 autres utilisaient des accélérateurs nationaux, soit un total de 1400 pour le CERN et les Etats Membres (Chapitre VII, 1, p. 27). L'effectif qui utilisera le CERN-Meyrin et le laboratoire de 300 GeV en 1981 n'excèdera guère le total actuel des expérimentateurs européens; même en tenant compte du programme de machines nationales, le nombre total de physiciens expérimentateurs en Europe dans une quinzaine d'années pourrait être encore inférieur au double du chiffre de 1966, avec un taux annuel de croissance de 4,5% seulement (Chapitre IX, p. 34).

En raison de cet accroissement modéré, l'ECFA estime que les Etats Membres peuvent maintenant décider la construction du PS de 300 GeV, tout en poursuivant leurs programmes d'accélérateurs nationaux, sans courir le risque d'orienter vers une seule branche de la physique une part trop importante des ressources humaines de l'Europe.

5. Répartition des dépenses entre les activités nationales et internationales

L'ECFA s'est livré à une étude des incidences financières de ces recommandations du point de vue des Etats Membres, notamment dans le domaine de l'exploitation des laboratoires internationaux.

En 1966, l'exploitation du CERN a coûté 146 millions de francs suisses, les grands projets d'investissement absorbant en outre 26 millions de francs. Les programmes nationaux se sont élevés à 390 millions de francs, dont 75 millions consacrés au soutien des groupes qui travaillent exclusivement avec le CERN (Tableau VIII, Chapitre VII, 1, p. 29). En 1981, on estime que le coût total du programme qu'implique le modèle aura triplé, atteignant un total d'environ 1800 millions de francs (Tableau XI, Chapitre IX, p. 37).

- 5.1 Si l'on veut que les groupes extérieurs puissent travailler efficacement en nombres suffisants, il est nécessaire que leurs activités soient financées par des crédits nationaux. Il y a un rapport logique entre ce financement et les budgets d'*exploitation* des laboratoires internationaux: en 1966 les crédits affectés à ce financement représentaient environ 50% des dépenses d'exploitation du CERN. Cette proportion devrait être maintenue dans les années à venir. L'ECFA recommande que les Etats Membres revoient, en fonction de ce pourcentage, l'appui qu'ils accordent aux groupes universitaires et aux laboratoires de recherche nationaux collaborant avec le CERN. Il convient également de considérer les incidences d'une participation à la construction d'appareils importants destinés à une exploitation internationale.
- 5.2 Il est préférable de comparer le coût des programmes nationaux indépendants — construction et exploitation — avec le *total* des dépenses du même ordre faites à titre international. Dans le cadre du programme envisagé par l'ECFA, le coût de la partie purement nationale passe de 180% du total des dépenses internationales en 1966, à environ 80% de ce total en 1981. L'ECFA estime qu'une répartition approximativement égale des dépenses entre la recherche nationale indépendante et la contribution aux laboratoires internationaux représentera une situation saine lorsque l'accélérateur de 300 GeV sera en pleine exploitation.

CHAPITRE II

LE CADRE SCIENTIFIQUE

II 1 INTRODUCTION

La valeur culturelle et pédagogique de la physique des particules élémentaires, de même que son utilité technique, ont été soulignées et abondamment illustrées dans divers documents, en particulier par le Rapport ECFA 1963.

Ces arguments ont été repris et développés avec beaucoup de clarté dans le Rapport sur l'Etat d'Avancement du Projet d'un Synchrotron à Protons Européen de 300 GeV, de juillet 1966, dont nous citons les paragraphes suivants:

Au cours des cent dernières années ont été accomplis d'immenses progrès dans notre compréhension et notre maîtrise des phénomènes physiques. Les propriétés fondamentales de la matière ont notamment été découvertes par étapes successives, dont chacune a révélé des lois et des structures de la plus haute importance tant pour la physique que pour la technologie moderne. C'est ainsi que, dans le premier quart du vingtième siècle, la physique expérimentale a élucidé la structure des atomes et des molécules et démontré qu'ils sont formés d'électrons qui gravitent autour de noyaux minuscules mais très lourds. Ces remarquables observations ont conduit, vers 1925, à l'élaboration de la théorie quantique, qui explique comment les électrons gravitent autour des noyaux et comment ils lient les noyaux les uns aux autres pour former des molécules ou corps solides. Ainsi étaient établies les bases de notre compréhension actuelle et de notre utilisation de la chimie, de la physique des états solides et de l'électronique, tandis qu'en philosophie tous les concepts afférents à la causalité et au déterminisme se trouvaient révolutionnés.

A la physique atomique a succédé l'étude expérimentale du noyau atomique. C'est dans ce domaine que les accélérateurs de particules ont constitué pour la première fois les principaux instruments de recherche, car il est vite apparu que les sources radioactives naturelles, utilisées à l'origine, n'étaient ni assez intenses ni assez maniables pour permettre des travaux détaillés. On a alors découvert que les noyaux sont formés de protons et de neutrons qui gravitent les uns autour des autres en formant des configurations particulièrement denses et compactes. On a compris comment la fusion de noyaux légers permet de libérer de l'énergie nucléaire et comment ce phénomène explique la combustion du soleil et des étoiles. On a prédit que l'énergie nucléaire pourrait être également libérée par fission des noyaux lourds et on a effectivement obtenu ce résultat. Enfin on a appris comment obtenir un grand nombre de nouvelles espèces nucléaires, aujourd'hui d'usage courant en médecine, biologie, métallurgie et de nombreux autres domaines de la science et de la technique.

S'il est possible d'expliquer, par la théorie quantique, le mouvement des protons et des neutrons à l'intérieur des noyaux atomiques, la physique nucléaire a révélé deux types entièrement nouveaux de forces que nous sommes toujours incapables de comprendre. Il s'agit des interactions « fortes » qui lient étroitement protons et neutrons dans les noyaux et sont à l'origine de l'énergie nucléaire, et des interactions « faibles » qui provoquent la radioactivité bêta et se rattachent intimement à la particule la plus fuyante de la nature entière, le neutrino. Il est maintenant parfaitement établi que l'étude de ces forces nous conduit au-delà de la physique nucléaire ordinaire. Il faut approfondir les éléments intimes des protons et des neutrons eux-mêmes, c'est-à-dire pénétrer la matière jusqu'au niveau subnucléaire. Ici intervient la loi très générale de la nature selon laquelle plus l'objet à étudier est petit, plus les énergies nécessaires sont élevées. Ainsi, la physique subnucléaire est aussi une physique des hautes énergies, dont l'avancement requiert des accélérateurs d'énergies croissantes.

Jusqu'à présent, la découverte la plus importante en physique des hautes énergies est celle de l'existence d'autres particules fondamentales de la nature que le proton, le neutron et l'électron. Il en existe en effet bien d'autres. Elles sont difficiles à observer car, lorsqu'on les produit, elles se désintègrent presque aussitôt. Mais elles présentent autant d'importance que le proton, le neutron et l'électron quand on cherche à comprendre la nature des interactions fortes et faibles. Les premières de ces nouvelles particules extrêmement instables

ont été découvertes dans les rayons cosmiques. Leur étude précise et la découverte de nombreuses autres particules sont les principaux résultats atteints grâce aux accélérateurs de haute énergie construits au cours des quinze dernières années. En effet, de même que pour la radioactivité naturelle en physique nucléaire, il s'est révélé que les rayons cosmiques, source naturelle de hautes énergies, n'étaient ni suffisamment intenses ni assez faciles à contrôler aux fins de l'expérimentation.

Les accélérateurs actuels ont révélé l'existence de près d'une centaine de particules (souvent dites particules élémentaires, appellation de plus en plus contestable à mesure qu'on connaît mieux leurs propriétés). Les accélérateurs ont permis d'étudier jusqu'à un certain point les modes de désintégration et les interactions mutuelles de certaines de ces particules, procurant ainsi des renseignements nouveaux et vitaux sur la nature des interactions fortes et faibles. Tandis que s'allongeait la liste des particules connues, leur surprenante variété a d'abord provoqué la confusion et découragé les interprétations systématiques. Il est toutefois très remarquable que les cinq dernières années nous aient conduits au point où la multiplicité même des particules a révélé un ordre nouveau, caractérisé par des principes mathématiques bien définis de symétrie (ordinairement désignés par les symboles SU_3 et SU_6). Des particules qui paraissent à première vue différer complètement les unes des autres sont maintenant reconnues comme appartenant à la même famille et comme présentant des analogies internes. Le proton et le neutron ne sauraient se comprendre séparément: ils ne sont que deux des membres d'une famille plus vaste qui compte peut-être dix-huit particules, dont certaines extrêmement instables. De même, l'interprétation des interactions fortes et faibles subit profondément l'influence de ces nouveaux principes de symétrie qui permettent de grouper en une interprétation unique des résultats expérimentaux qui seraient restés complètement séparés voilà quelques années. Enfin, la plupart des physiciens inclinent maintenant à croire que les nouvelles symétries sont peut-être la manifestation d'une remarquable structure interne du proton, du neutron et de maintes autres particules qui passaient naguère pour élémentaires. Si tel est bien le cas, le proton pourrait contenir des particules encore plus élémentaires (que l'on a proposé d'appeler «quarks») ce qui, derechef, ouvrirait à la physique des horizons entièrement nouveaux.

Le Rapport sur l'Etat d'Avancement du Projet poursuit en rappelant la décision prise en 1953 de créer le Laboratoire du CERN, qui a permis aux Etats Membres de participer, à l'échelon le plus élevé, au développement de la physique des hautes énergies.

Les meilleurs physiciens européens ont pu ainsi continuer à contribuer aux recherches afférentes à la physique des hautes énergies et des particules; des laboratoires nationaux et des instituts universitaires ont été fondés et ont attiré un personnel remarquablement compétent; et la physique des hautes énergies est devenue l'un des piliers de la science européenne. Ce résultat est d'autant plus encourageant et important qu'un effort équilibré et résolu sur l'ensemble du front de recherche s'impose aux grands pays ou groupes de pays pour réaliser leur développement technique et économique à long terme; tous les pays avancés le comprennent d'ailleurs maintenant. On ne saurait trop souligner l'importance d'un programme équilibré de recherche technique et appliquée. Ce n'est pas seulement que certaines parties de ce programme peuvent toujours conduire et, en fait, conduisent souvent, à l'improviste, à des applications inattendues. C'est aussi qu'un programme équilibré, qui s'attache suffisamment aux problèmes fondamentaux, constitue la condition préalable nécessaire pour créer le climat et l'échelle des valeurs propres au développement de la science et de la technologie. Comme le disait si pertinemment le Professeur C.F. Powell: «Une civilisation scientifique résulte du jeu complexe de toutes les branches de la science et de la technique. Le problème consiste à leur donner un développement équilibré, car la faiblesse d'un seul secteur affecte l'ensemble du front de marche.»*

L'ECFA a pour mission de proposer les méthodes et les moyens propres à sauvegarder cette situation et à faire en même temps face aux besoins de l'enseignement de la physique fondamentale dans les Etats Membres.

Deux points paraissent à ce sujet essentiels:

- a) Il faut créer un nombre suffisant d'installations de physique des hautes énergies: l'élaboration des plans ne doit pas tarder, car, dans beaucoup de cas et spécialement

* Professeur C.F. Powell: «Rôle de la science pure dans la civilisation européenne», discours prononcé au CERN le 10 octobre 1964.

pour les accélérateurs, les travaux de construction durent des années. Il convient de tenir compte des développements prévus dans le domaine de la physique des hautes énergies, de manière que les moyens mis en place représentent un ensemble équilibré d'installations (accélérateurs de protons et d'électrons, centres d'analyse des données, institutions de recherche et de soutien technologique, centres d'études théoriques).

- b) Il importe de prendre très sérieusement en considération, au moment de la mise en œuvre de ces installations, la nécessité d'assurer des contacts étroits avec les instituts d'enseignement de la physique.

II 2 LE PROJET D'ACCÉLÉRATEUR DE 300 GeV

Jusqu'à présent, l'entrée dans un nouveau domaine d'énergies a toujours permis une riche moisson de phénomènes nouveaux. Ceux-ci à leur tour ont donné naissance à des idées neuves qui, finalement, ont permis de mieux comprendre non seulement les faits nouveaux, mais également ceux qui étaient déjà connus. Tel a été notamment le cas pour les accélérateurs de la dimension du PS du CERN. On se trouve donc naturellement incité à ne pas s'arrêter à 30 GeV, mais à pousser vers les plus hautes énergies possibles. Le Rapport sur l'Etat d'Avancement du Projet s'est exprimé à ce sujet de la manière suivante:

C'est dans la perspective de cette évolution générale qu'on peut apprécier le mieux l'importance du projet de 300 GeV. La physique des hautes énergies nous a révélé un monde constitué de nombreuses particules. Quelques-unes, comme le proton, le neutron et l'électron, sont bien connues; toutes les autres sont extrêmement éphémères, difficiles à obtenir et encore plus à étudier. Pourtant, toutes sont également importantes si nous voulons démêler les forces et lois fondamentales qui régissent la matière aux échelons nucléaire et subnucléaire. Les synchrotrons à protons du CERN et de Brookhaven, ainsi que d'autres accélérateurs de moindre énergie situés en Europe, aux Etats-Unis et en URSS nous ont découvert ce monde nouveau de la physique des particules. Dans les limites qu'imposent leur énergie et leur intensité, ces machines servent à étudier certaines des multiples questions auxquelles nous devons répondre pour parvenir à comprendre réellement les phénomènes que nous a révélés la physique subnucléaire. Des programmes d'amélioration et de développement à vaste échelle ont été entrepris pour accroître les moyens offerts par les accélérateurs du CERN et de Brookhaven. Ils assureront, pendant une dizaine d'années, le maintien des positions avancées atteintes par notre continent et par les Etats-Unis. Mais l'étape suivante doit être préparée dès à présent, la construction et la mise en exploitation de projets de cette envergure exigeant un délai de dix ans. La collectivité des physiciens spécialistes des particules convient que cette étape exige la construction de synchrotrons à protons beaucoup plus grands, ces machines présentant l'avantage remarquable de satisfaire simultanément les deux conditions indispensables à de nouveaux progrès de la physique des particules, à savoir un accroissement de l'énergie et une augmentation de l'intensité des faisceaux. Ainsi, un synchrotron à protons de 70 GeV est sur le point d'être achevé en URSS. Les Etats-Unis, tout en finissant de construire un accélérateur d'électrons de 20 GeV, qui sera porté plus tard à 40 GeV, se préparent à décider finalement de la construction d'un synchrotron à protons de 200 GeV. En Europe, tant l'ECFA que le Comité des Directives scientifiques du CERN ont reconnu que le synchrotron à protons de 300 GeV, dont l'énergie supérieure compense les délais de construction, procurera à notre continent une machine appropriée pour assurer la relève dans la seconde moitié de la prochaine décennie.

Quelques exemples montreront les avantages que l'expérimentation pourra tirer de l'accélérateur de 300 GeV envisagé. Les énergies typiques des faisceaux de particules spéciales comme les mésons K et les antiprotons, principaux producteurs des nouvelles particules instables, s'étendent actuellement de 2 à 10 GeV. Il y a déjà lieu d'aller plus loin, mais on se heurte à la faible intensité des faisceaux de ces particules produits par les accélérateurs dans la gamme d'énergies des protons voisine de 30 GeV: or l'accélérateur de 300 GeV devrait produire des faisceaux de 10 à 20 GeV dont l'intensité pourrait être 1000 fois plus élevée. Il fournira aussi, naturellement, des faisceaux d'énergie bien supérieure qui, même dans la région de 50 GeV, seront d'une intensité très élevée par rapport aux normes actuelles.

Dans une autre catégorie d'expériences, qui utilise les faisceaux de neutrinos dont l'importance est capitale pour l'étude des interactions faibles, il faut maintenant utiliser

le synchrotron du CERN à son intensité maximale pendant des semaines pour observer 100 événements à neutrinos. Avec l'accélérateur de 300 GeV, non seulement la gamme d'énergie des neutrinos sera considérablement accrue, mais encore le temps d'observation sera ramené de plusieurs semaines à quelques heures, de sorte que même les événements rares, souvent les plus révélateurs, pourront être observés en nombre suffisant pour être utiles.

Ces exemples montrent que le nouvel accélérateur entraînera effectivement une modification qualitative dans la puissance dont dispose la physique européenne et qu'il est de taille à succéder dignement au synchrotron actuel du CERN. Tout appareil plus modeste présenterait le risque grave d'être insuffisant et périmé dès sa mise en service.

Illustrant le rôle de l'accélérateur de 300 GeV dans la recherche et l'enseignement en Europe, le Rapport sur l'Etat d'Avancement du Projet poursuit en ces termes:

L'utilisation judicieuse des accélérateurs de haute énergie dans l'intérêt général de la recherche et de la formation scientifiques pose des problèmes d'organisation difficiles, étant donné que la recherche doit rester étroitement associée à l'enseignement supérieur et donc à la vie universitaire. C'est en effet sur des activités coordonnées de recherche et d'enseignement dans les universités que reposent les fondations du progrès scientifique. Les universités découvrent et forment les jeunes savants, qui constituent la cheville ouvrière du développement futur. En outre, elles ont été et demeurent les hauts lieux de la pensée originale où se font jour maintes idées nouvelles concernant la direction à donner à la recherche. Toutefois, elles ont besoin d'avoir accès aux instruments les plus modernes, en particulier à des accélérateurs de haute énergie d'une taille et d'une complexité telles qu'ils sont bien trop onéreux pour être construits pour chaque université et que, d'ailleurs, aucune d'entre elles ne pourrait exploiter isolément faute d'un nombre suffisant de personnel enseignant et d'étudiants. Telle est la raison pour laquelle il existe de grands laboratoires nationaux et internationaux dotés d'accélérateurs, qui se trouveront toujours, par nécessité, loin de la plupart des universités. Le mieux qu'on puisse faire, c'est donc d'en rendre l'accès aussi facile que possible au plus grand nombre possible d'universités participantes.

Ces laboratoires centraux doivent donc offrir des moyens de recherche à toutes les universités qui participent à leurs activités. Le professeur de physique doit avoir la possibilité de se partager entre ses cours à l'université et les recherches qu'il effectue au moyen de l'accélérateur central. Ses étudiants diplômés doivent eux-mêmes être en mesure de participer à ces recherches, effectuées en partie au laboratoire central pour l'exécution des expériences, en partie à l'université pour leur préparation et pour l'analyse des données. Enfin, le professeur d'université doit participer pleinement aux discussions et décisions relatives au programme de recherche de l'accélérateur central.

L'expérience actuellement acquise au CERN et dans les autres grands laboratoires enseigne que ces conditions peuvent se trouver satisfaites.

Ainsi, le CERN fournit des moyens expérimentaux à quelque 700 physiciens et étudiants qui effectuent des recherches sur les hautes énergies dans une cinquantaine d'universités européennes, alors que son propre personnel ne compte pas plus de 70 physiciens des hautes énergies. La plupart de ces derniers, d'ailleurs, s'en vont au bout de cinq ou six ans. Le programme du synchrotron à protons est élaboré par trois comités d'expériences où sont représentés tous les groupes d'utilisateurs...

Par son caractère fondamental et par la richesse des nouveaux phénomènes qu'elle a fait connaître, la physique des hautes énergies a toujours exercé une forte attirance sur les esprits jeunes et doués. Le nombre des physiciens des hautes énergies a même augmenté, ces dernières années, plus vite que ne l'avait prévu l'ECFA dans ses estimations d'effectif en 1963. L'attrait des grands accélérateurs s'exerce aussi puissamment sur les physiciens qui s'intéressent aux questions techniques. On ne prévoit donc aucune difficulté d'effectif pour le projet de 300 GeV. Il convient également de noter que, malgré sa population plus nombreuse, l'ensemble de l'Europe consacre à la physique des hautes énergies des efforts plus modestes que les Etats-Unis. C'est là certes une raison de plus de poursuivre résolument l'avancement de la physique des hautes énergies en Europe. Sans quoi, les meilleurs de nos jeunes savants, souvent aussi les moins sédentaires, n'hésiteraient pas à émigrer vers des lieux où de meilleures installations pour cette partie fondamentale de la physique leur sont offertes.

La valeur pédagogique des travaux effectués grâce à un accélérateur de haute énergie comme celui de 300 GeV devient considérable quand les jeunes savants se trouvent en contact étroit avec les diverses phases des expériences auxquelles ils participent. Bien plus que nombre d'autres disciplines, la physique des hautes énergies exige une connaissance très large de la physique pure et appliquée et des problèmes afférents à la technologie et à l'organisation sur une grande échelle. Même un jeune étudiant qui débute dans la recherche se familiarise ainsi non seulement avec la théorie quantique avancée et la physique des particules, mais aussi avec les techniques les plus modernes de l'électronique et des ordinateurs, la cryogénie, l'optique et l'électromécanique. Il est donc certain que les jeunes scientifiques qui ont reçu leur formation en physique dans le domaine des hautes énergies se trouvent bien préparés pour d'autres carrières scientifiques et techniques, y compris celles de l'industrie et de l'enseignement scientifique. On prévoit même, tant aux Etats-Unis qu'en Europe, que si la tendance actuelle au développement de l'enseignement supérieur se maintient, le nombre des physiciens qui quittent le domaine de la physique des hautes énergies après avoir obtenu leur doctorat atteindra 50% ou plus de ceux qui y entrent, compte tenu, d'une part, de l'intérêt que suscitent ces recherches parmi les étudiants et, d'autre part, des possibilités qui leur sont offertes par les laboratoires existants ou en projet.

II 3 LES PROGRAMMES NATIONAUX ET RÉGIONAUX

En 1963, l'ECFA s'était attaché à souligner non seulement la nécessité de grands accélérateurs internationaux, mais aussi l'importance égale d'installations plus petites réparties parmi les Etats Membres. Ces dernières complètent utilement les laboratoires internationaux de diverses manières, selon le type d'installation en question.

- a) La physique des particules élémentaires couvre un grand nombre de domaines, dont l'importance relative se modifiera à mesure que nous les comprendrons mieux. Les synchrotrons à protons classiques ne permettent pas d'explorer certains de ces domaines, pour lesquels il faudrait toute une gamme d'accélérateurs différents. Citons à titre d'exemple les machines à électrons ou à basse énergie, ou les machines à protons d'intensité élevée (appelées usines à pions ou à kaons). De telles machines sont destinées notamment à permettre des expériences impossibles en Europe dans les laboratoires internationaux existants ou à venir. Il serait donc souhaitable de disposer en Europe d'un ensemble bien équilibré d'accélérateurs de ce genre.
- b) En raison de leur situation géographique, les laboratoires nationaux sont beaucoup plus aisément accessibles aux physiciens et aux étudiants des universités du voisinage que les grands laboratoires internationaux. C'est le cas non seulement pour les laboratoires dotés d'accélérateurs mais aussi pour des centres de traitement des données et ceux où l'on met au point l'équipement destiné à servir dans les laboratoires internationaux.
- c) Comme il a été indiqué, une amicale émulation entre laboratoires analogues et l'échange de personnel expérimenté seront des stimulants bénéfiques pour les laboratoires nationaux aussi bien qu'internationaux.

La construction d'accélérateurs nationaux ou régionaux de dimensions restreintes ou moyennes, situés dans des universités ou des laboratoires nationaux, devrait donc être un élément important des programmes nationaux de physique des hautes énergies.

Cependant, dès 1963, il avait été envisagé que les recherches en physique des hautes énergies pourraient très bien être effectuées dans des instituts qui ne possèdent pas leur propre accélérateur, mais collaborent avec des instituts équipés d'accélérateurs et situés ailleurs, notamment avec les laboratoires internationaux. L'expérience acquise au cours des dernières années montre que ce type d'activité a même une importance encore plus grande qu'il n'avait été prévu en 1963. Il est essentiel que les physiciens travaillant dans des laboratoires qui ne possèdent pas d'accélérateurs se consacrent à des travaux pratiques d'expérimentation; il convient d'encourager leur participation aux expériences, à l'évaluation des données et à la mise au point de l'équipement, et il faut que leurs laboratoires reçoivent le matériel et les crédits nécessaires à ces travaux. Leurs besoins particuliers seront étudiés au Chapitre VIII (p. 32).

CHAPITRE III

CONSTRUCTION DE L'ACCÉLÉRATEUR DE 300 GeV

III 1 CONCEPTION DE L'ACCÉLÉRATEUR

Les principaux paramètres de la machine sont confirmés, à savoir une énergie maximum de 300 GeV et une intensité moyenne de 10^{13} protons/seconde. A la lumière des connaissances actuelles, les autres caractéristiques techniques prévues, et notamment l'ouverture de l'aimant et les systèmes d'injection et d'accélération HF, sont en harmonie avec l'intensité nominale de l'accélérateur. Le danger que l'intensité soit limitée de manière appréciable par des phénomènes qui jusqu'ici n'ont pas été pris en considération n'est pas assez grand pour justifier des modifications techniques qui entraîneraient un accroissement sensible des coûts. Un certain nombre de détails, notamment le diamètre de l'anneau, la section transversale du tunnel et la construction du système d'injection, doivent faire l'objet d'études plus poussées et d'essais sur modèle pour permettre une optimisation des coûts et des performances; la majeure partie de ces travaux doit attendre le choix de l'emplacement qui peut influencer considérablement le coût des travaux de génie civil et de l'alimentation en électricité. L'ECFA estime que l'accélérateur envisagé présente des problèmes de construction mais pas « d'inconnues »; en un sens, sa réalisation fera appel à des moyens plus classiques que celle du PS du CERN au moment où ce projet a été mis en route à Meyrin; elle exigera toutefois des normes de fabrication industrielle encore plus sévères, ainsi que des conditions géologiques plus favorables.

Les coûts et effectifs envisagés par le Groupe d'Etudes du CERN correspondent à ce qu'il faut prévoir pour la construction de l'accélérateur et la constitution des services généraux du laboratoire.

En résumé, le projet d'accélérateur de 300 GeV présenté dans le document CERN/563 repose sur des bases techniques et économiques solides. Un addendum à ce document (CERN/702) a été préparé par le Groupe d'Etudes du CERN. Il tient compte des recommandations issues des discussions avec le Groupe de Travail 2, ainsi que des perfectionnements proposés depuis la publication du rapport initial en 1964 comme par exemple l'emploi d'une « déviation » sur l'anneau principal ou d'un système d'injection à anneaux multiples (TART).

On trouvera ci-après un exposé plus complet des conclusions et des propositions formulées sur le projet par le Groupe de Travail 2 et approuvées par l'ECFA.

III 1.1 Principaux paramètres

La liste complète des paramètres de l'avant-projet figure dans le document CERN/563. Le Tableau I (p. 10) donne les paramètres les plus importants à titre de référence.

Energie maximum: On ne possède à l'heure actuelle aucune preuve expérimentale de l'existence de particules chargées massives stables (quarks), et les mesures des rayons cosmiques ne fixent pas de limite certaine pour leur masse. Les raisons du choix d'une énergie de 300 GeV exposées dans le Rapport ECFA 1963, page 8, restent donc valables pour autant que l'accélérateur soit terminé dans les délais prévus actuellement. Il reste vrai également qu'un retard important dans sa construction obligerait à reconsidérer le choix de l'énergie.

Intensité: L'intensité nominale de 10^{13} protons/seconde se situe très près de la limite calculée d'après les données actuelles sur les effets de charge d'espace. Il se peut donc qu'elle ne soit obtenue qu'après une période de mise au point d'une ou deux années. Il se pourrait aussi que des effets imprévus empêchent de l'atteindre complètement.

TABLEAU I
Principaux paramètres du synchrotron à protons de 300 GeV

1. Paramètres généraux	
Energie des protons	50-300 GeV
Nombre maximum de protons par impulsion	$3,3 \times 10^{13}$ protons/impulsion
Durée maximum du palier	0,7 s
Durée du cycle avec une durée de palier maximum	3,3 s
Nombre de protons accélérés avec une durée de palier maximum	10^{13} protons/seconde
2. Anneau principal	
Diamètre	2,4 km
Longueur de chaque section droite longue	55,8 m
Nombre de sections droites longues:	
pour cavités HF	6
pour injection	1
disponibles pour faisceaux éjectés	5
Champ de guidage maximum	1,2 Tesla
Energie d'injection	8 GeV
Dimensions intérieures de la chambre à vide:	
largeur	100 mm
hauteur	60 mm
Poids de l'aimant: acier	25 000 tonnes
cuivre	2 100 tonnes
Puissance maximum fournie à l'aimant	180 MW
Tension d'accélération HF maximum par révolution	13,4 MV
Fréquence HF	183 MHz
Puissance HF de crête nécessaire à intensité maximum	7,2 MW
3. Système d'injection (système prévu dans le document CERN/563)	
Fréquence de répétition du synchrotron injecteur	20 Hz
Durée de l'injection dans l'anneau principal	0,6 s
Intensité par impulsion du synchrotron injecteur	$2,7 \times 10^{12}$ protons/impulsion
Diamètre de l'anneau	200 m
Energie de l'accélérateur linéaire d'injection	200 MeV

De l'avis du Groupe de Travail 2, le danger que l'intensité maximum reste inférieure à l'intensité nominale (même par un facteur de deux) n'est pas assez grand pour justifier une modification du projet, si celle-ci entraîne une augmentation importante des coûts.

Le projet technique du système d'injection devrait toutefois prévoir la possibilité d'améliorations futures permettant de relever la limite de charge d'espace (au moyen d'une augmentation de l'énergie d'injection dans le premier accélérateur circulaire).

Possibilité de variation de l'énergie finale des protons: Le projet prévoit une gamme d'énergie très vaste (50-300 GeV) pour les faisceaux de protons éjectés. Le changement d'énergie peut être réalisé soit de cycle à cycle soit à l'intérieur d'un même cycle en découpant une partie du faisceau après interruption du processus d'accélération (au moyen d'un « porche d'entrée »). Dans le deuxième cas, le faisceau de plus basse énergie aura une structure fine à environ 200 MHz, ce qui est jugé acceptable.

On sait que le système d'injection choisi pourra interdire des accroissements importants du courant moyen lorsque la machine fonctionnera à basse énergie. Cette limitation est acceptable à condition que le fonctionnement de la machine soit plus sûr à l'énergie maximum.

Fiabilité: L'accélérateur de 300 GeV dépassera de loin les dimensions de tout autre accélérateur existant et il ne fait pas de doute que sa construction et son exploitation exigeront des techniques poussées jusqu'aux limites du rendement possible. Pour que l'accélérateur puisse être exploité dans de bonnes conditions d'efficacité et d'économie, il faut donc accorder la plus grande attention à la fiabilité des divers ensembles et de leurs éléments ainsi qu'aux moyens d'assurer un entretien rapide et aisé.

III 1.2 Conception des éléments de l'accélérateur

Ouverture de l'aimant: L'ouverture est généralement considérée comme suffisante pour autant que les tolérances mécaniques pour la construction de l'aimant prévues dans

l'étude technique soient respectées lors de la production en série; certains membres du Groupe de Travail 2 sont cependant d'avis que l'ouverture devrait être quelque peu augmentée.

Champ magnétique maximum: La courbe du coût global de la machine en fonction du champ magnétique maximum est presque plate pour un grand intervalle de valeurs du champ, à condition que les divers paramètres soient choisis en conséquence; si de nouveaux éléments, dont il n'a pas été tenu compte pour l'optimisation des coûts, rendaient souhaitable l'adoption de champs magnétiques plus élevés ou moins élevés, avec une modification correspondante du diamètre de l'anneau, des changements de l'ordre de $\pm 10\%$ pourraient être apportés sans entraîner de variation notable des coûts.

Structure de l'aimant: Le Groupe de Travail 2 a discuté une proposition récente de structure à fonctions séparées avec aimants à ouverture rectangulaire (window-frame magnets). En accord avec les conclusions du Groupe d'Etudes du CERN, cette solution n'a pas été retenue pour le projet actuel, et cela pour les trois raisons suivantes: 1) elle poserait de sérieux problèmes mécaniques, tant de construction que de mesures; 2) la réduction des coûts serait faible, voire nulle; 3) le comportement magnétique précis des aimants pulsés à ouverture rectangulaire est très peu connu. Il serait peu raisonnable de compromettre la réussite du projet de l'accélérateur de 300 GeV en adoptant des solutions techniques qui n'ont pas encore été éprouvées.

Système d'injection: Le Groupe d'Etudes du CERN a étudié deux types de système d'injection: le premier, avec un accélérateur linéaire de 200 MeV dont le faisceau est injecté dans un synchrotron injecteur de 8 GeV, est décrit dans le document CERN/563; le second prévoit un accélérateur linéaire de 60 MeV dont le faisceau est injecté dans un TART (triple anneau d'accélération et de transfert) constitué de trois accélérateurs de 600 MeV, circulaires et superposés, d'où les faisceaux sont transférés dans le synchrotron injecteur.

En ce qui concerne les effets de charge d'espace qui limitent l'intensité finale de l'accélérateur de 300 GeV, le second système correspond à un accélérateur linéaire de 290 MeV dont le faisceau serait injecté directement dans le synchrotron injecteur.

Le coût de ce système n'a pas encore fait l'objet d'une évaluation exacte, mais il est certainement supérieur à celui du premier.

Le Groupe de Travail 2 estime qu'on pourrait envisager d'utiliser le système TART au lieu de l'accélérateur linéaire de 200 MeV, à condition qu'une étude approfondie de ce système en établisse la praticabilité et la fiabilité et qu'on trouve une solution technique dont le coût soit du même ordre que celui d'un accélérateur linéaire de 200 MeV.

Si cette dernière condition n'était pas remplie, la solution du système TART devrait être comparée, du point de vue de la fiabilité et des limites de charge d'espace, avec une solution prévoyant un accélérateur linéaire d'une énergie telle que le coût des deux solutions soit le même. Toutefois, selon l'avis du Groupe de Travail 2 au sujet de l'intensité (voir Chapitre III, 1.1, p. 9), il n'est pas souhaitable d'apporter au système d'injection une modification qui en augmenterait sensiblement le coût par rapport à celui prévu dans le rapport du CERN.

Au cours des discussions, il a été souligné qu'un synchrotron injecteur à cyclage rapide pourrait donner lieu à des difficultés en ce qui concerne le système HF et l'enceinte à vide; ceci a suscité une discussion sur des synchrotrons injecteurs à cyclage lent nécessitant une extraction multi-tours à rendement élevé, technique qui n'a pas été éprouvée sur les accélérateurs actuels. Le Groupe de Travail 2 propose de poursuivre les études dans ce sens parallèlement à des expériences visant à déterminer la praticabilité et les avantages d'un synchrotron injecteur à cyclage lent.

Le Groupe de Travail 2 a également examiné l'emploi éventuel d'un synchrotron de 50 GeV comme injecteur pouvant aussi fournir un faisceau de protons de 50 GeV pour les expériences. Ce synchrotron coûterait environ 100 millions de francs suisses de plus que le synchrotron injecteur de 8 GeV, non compris le coût supplémentaire des installations expérimentales; d'autre part, l'intensité finale du synchrotron à protons de 300 GeV serait

environ quatre fois plus faible que l'intensité de 10^{13} protons/seconde prévue. Le coût supplémentaire, les performances réduites de l'accélérateur de 300 GeV, l'utilisation limitée de l'installation à 50 GeV et le retard possible dans le délai d'exécution du projet sont de puissants arguments contre un injecteur de 50 GeV.

Système HF: La nouvelle solution proposée pour le système d'accélération HF, qui fait appel à une structure à onde progressive, semble pleine de promesses; toutefois, certains points doivent être étudiés de manière plus approfondie, notamment l'interaction entre un faisceau à courant élevé et les cavités HF.

Utilisation de cibles et extraction du faisceau: En raison des problèmes posés par la radio-activité induite, on s'est surtout attaché à prévoir l'emploi de faisceaux éjectés de protons; bien qu'au moment de la rédaction de ce rapport, le rendement de l'extraction lente au PS du CERN n'ait pas dépassé environ 50%, on a de bonnes raisons de croire que dans quelques années il atteindra au moins 90%. L'aménagement futur d'une zone de cibles internes doit néanmoins être prévu dans les plans de construction et ceci des deux manières suivantes:

- i) élargissement du tunnel dans une des sections droites;
- ii) prévision d'une «déviation» pouvant également être utilisée pour une installation future de collisions de faisceaux ou autre.

Il convient d'envisager en temps utile l'utilisation de brèves impulsions de faisceaux éjectés pour les chambres à bulles pendant l'éjection lente pour d'autres expériences, et d'étudier ses incidences sur l'expérimentation.

Blindage: Le blindage de l'accélérateur et des zones des cibles a été calculé en 1964 sur la base d'une dose maximum admissible d'irradiation du personnel de 0,8 mrem/h, soit le tiers de la dose limite fixée par les règlements internationaux de 1964, en prévision de l'application de règlements plus sévères au moment de la mise en service de la machine. Les mêmes principes et niveaux d'irradiation ont été admis pour l'accélérateur linéaire de 20 GeV de Stanford. Etant donné que la tendance à réduire la dose maximum admissible ne s'est pas maintenue, il est proposé, tout en conservant la limite de 0,8 mrem/h pour le blindage de l'accélérateur, d'entreprendre en temps voulu une nouvelle étude du blindage des zones de faisceaux externes et de cibles pour déterminer les doses maximum en fonction des règlements qui seront en vigueur à ce moment.

Une expérience sur les longueurs d'atténuation et les facteurs de multiplication dans le blindage a été effectuée récemment au PS du CERN par un groupe de chercheurs de Berkeley, du Laboratoire Rutherford et du CERN. L'évaluation définitive des résultats n'a pas encore été faite mais les données obtenues sur l'atténuation transversale sont en accord avec les récents calculs selon la méthode de Monte-Carlo; elles confirment que les épaisseurs de blindage transversal prévues dans le document CERN/563 ne sont que peu surdimensionnées. Un autre résultat important est que la distribution azimutale de la radiation du PS est une fonction qui peut être prédite à partir de la distribution des pertes de protons le long de la circonférence de la machine.

Métrologie et alignement: Des procédés d'alignement pour les faisceaux externes, les zones des cibles et les halls d'expérimentation devront être soigneusement étudiés à l'avance. Un système d'alignement télécommandé est proposé pour les faisceaux externes de protons.

Génie civil: Les dimensions de la section transversale du tunnel de l'anneau principal devraient être revues: on estime qu'il importe d'avoir accès aux aimants soit des deux côtés, soit d'un côté et d'en haut.

L'aménagement des points d'accès à l'accélérateur doit être réétudié en vue d'une réduction du coût.

La superficie des laboratoires et bureaux prévue dans le rapport du CERN correspond approximativement à celle dont on disposait dans d'autres grands laboratoires quelque trois ans après la mise en service de l'accélérateur. Après de longues discussions, les spécifications du CERN ont été entièrement approuvées.

III 1.3 Personnel

L'ECFA approuve les prévisions d'effectifs du Groupe d'Etudes du CERN, pour autant que l'effectif des « expérimentateurs sur place », cité dans le document CERN/563, s'entende en « physiciens-années de présence »; il est probable que les 210 expérimentateurs prévus en 1978 représenteront alors un total de 300-350 utilisateurs européens dont une partie seulement seront sur place tout au long de l'année. Une comparaison détaillée avec les effectifs du Laboratoire Rutherford montre que le nombre total et la répartition du personnel dans les différents groupes de service, par rapport au nombre d'expérimentateurs desservis, sont du même ordre que ceux prévus dans le rapport du CERN (voir Annexe 3, p. 45).

L'ECFA estime que le recrutement d'un personnel hautement qualifié pour l'accélérateur (à tous les échelons) exigera de la part des institutions européennes une coopération aussi active qu'au début de la construction du PS à Meyrin.

III 1.4 Coûts de l'accélérateur

Les estimations des coûts du projet d'accélérateur de 300 GeV présentées dans le rapport du CERN ont été divisées en trois principaux chapitres (voir Tableau II, p. 14). Ce sont: i) la machine proprement dite, ii) les installations générales du laboratoire et les services, iii) les travaux préparatoires destinés à la recherche sur les hautes énergies.

Les coûts des chapitres i) et ii) ont été discutés et l'opinion générale est qu'ils sont compatibles avec les hypothèses techniques formulées. Le titre iii) est traité au Chapitre IV, 7 (p. 20).

En conséquence, l'ECFA conclut qu'avec 1360 millions de francs suisses (aux prix de 1967) il est possible de construire l'accélérateur décrit dans le rapport du CERN et de le doter des installations générales et services nécessaires à la réalisation d'un programme expérimental du type prévu en ce moment.

III 2. SITES

L'ECFA approuve la procédure adoptée par le Conseil du CERN pour le choix de l'emplacement du nouveau Laboratoire et convient que la plupart des aspects du choix lui-même n'entrent pas dans le cadre de son mandat.

Toutefois, quelques-uns des points examinés au cours des discussions sur les nombreux facteurs dont dépend la réussite de la nouvelle entreprise méritent une attention particulière.

Les discussions des problèmes techniques et des coûts, résumées dans le présent document, se rapportent au site hypothétique envisagé dans le rapport du CERN et offrant des caractéristiques géologiques moyennes; si les caractéristiques du site choisi diffèrent fortement de celles sur lesquelles on s'est basé, les conclusions détaillées du présent document seront modifiées en conséquence. Les caractéristiques et la localisation du site choisi influenceront également les problèmes techniques associés au programme expérimental et les coûts d'exploitation (par exemple, il est clair que le coût de l'électricité variera d'un pays à un autre).

En évaluant ces facteurs, il peut être utile de noter qu'une variation aussi faible que 5% du coût de l'accélérateur (environ 50 millions de francs) correspondrait à environ 60% du coût de la chambre à bulles à hydrogène de 3,5 m actuellement envisagée pour le PS du CERN.

Les conséquences sociales du choix d'un site pour le nouveau Laboratoire devraient également être examinées attentivement. Le CERN doit une grande partie de sa réussite à sa situation favorable à proximité d'une ville moderne dotée d'un aéroport international.

Le nouveau Laboratoire devra être desservi par d'excellents moyens de communication. Une grande attention devra être accordée au logement du personnel et des visiteurs.

Il sera sans aucun doute souhaitable que le logement d'un assez grand pourcentage de visiteurs et de leurs familles soit placé sous le contrôle direct de la nouvelle organisation, si d'autres installations ne sont pas aisément disponibles. Dans l'hypothèse où il n'existerait pas d'école internationale à proximité du nouveau Laboratoire, une école devrait être organisée par le Laboratoire comme ce fut le cas, par exemple, à Ispra en Italie.

TABLEAU II
Répartition des coûts pour le synchrotron à protons de 300 GeV
(en millions de francs suisses aux prix de 1967)

Note. Les coûts du synchrotron à protons de 300 GeV, présentés en novembre 1964 dans le Rapport sur le projet d'un synchrotron à protons de 300 GeV par le Groupe d'Etudes du CERN, ont été ajustés pour tenir compte de la hausse des prix depuis cette date. Les pourcentages de cette hausse varient selon les postes mais correspondent aux chiffres applicables actuellement au CERN. Une reclassification de certains postes a été faite dans le cadre des trois catégories données ci-dessous.

	<i>COÛTS</i>
(i) Machine proprement dite	
Ensemble du tunnel principal	178,0
Ensemble du synchrotron injecteur	28,0
Bâtiments pour la division PS	14,0
Accélérateur linéaire et injection dans le synchrotron injecteur	38,5
Aimants du synchrotron injecteur	25,0
Système HF et observation du faisceau du synchrotron injecteur	20,0
Système à vide du synchrotron injecteur	8,0
Transfert du faisceau du synchrotron injecteur à l'anneau principal	10,5
Aimants de l'anneau principal	226,0
Système HF et observation du faisceau de l'anneau principal	40,0
Système à vide de l'anneau principal	25,0
Commandes	25,0
Divers	11,0
Systèmes d'éjection et cibles pour analyse de faisceaux	23,0
Main-d'œuvre pour l'installation	74,0
Matériel de laboratoire et outillage, division PS	32,0
Dépenses générales, division PS	11,0
Dépenses pour le personnel, division PS	135,0
Frais généraux pendant la période initiale	7,0
	<u>931,0</u>
(ii) Installations générales du laboratoire et services	
Aménagement du site, routes, services, etc.	78,0
Système d'alimentation et de refroidissement	68,0
Bâtiments destinés aux divisions de service et aux usages généraux	58,0
Ordinateurs	65,0
Matériel et outillage, divisions de service	28,5
Dépenses générales, divisions de service	26,0
Dépenses pour le personnel, divisions de service	108,0
	<u>431,5</u>
Machine et installations générales	1362,5
(iii) Travaux préparatoires destinés à la recherche sur les hautes énergies	
Bâtiments d'expérimentation et tunnels (environ 30 000 m ² de surface couverte sont nécessaires pour l'assemblage et les essais des éléments de la machine)	117,0
Faisceaux externes de protons et cibles	32,0
Blindage	57,0
Transport de faisceaux	40,0
Matériel de détection et de traitement des données	70,0
	<u>316,0</u>
Bâtiments pour les divisions de recherche sur les hautes énergies	10,0
Matériel de laboratoire et outillage pour les divisions de recherche sur les hautes énergies	13,5
Dépenses générales pour les divisions de recherche sur les hautes énergies	10,0
Dépenses pour le personnel de recherche sur les hautes énergies	64,0
	<u>97,5</u>
Travaux préparatoires destinés à la recherche sur les hautes énergies	413,5
TOTAL	1776,0

CHAPITRE IV

UTILISATION DU SYNCHROTRON A PROTONS DE 300 GeV

L'utilisation de l'accélérateur doit être étudiée en même temps que sa construction, si l'on veut être en mesure:

- i) de déterminer les caractéristiques de la machine en fonction de son usage futur en physique des hautes énergies;
- ii) de procéder à l'aménagement du site et aux premiers travaux de construction en tenant compte des exigences en matière de zones d'expérimentation;
- iii) de préciser dans toute la mesure du possible les besoins en matériel spécial à mettre au point, surtout lorsque cette mise au point exige beaucoup de temps;
- iv) d'établir des prévisions de dépenses et d'effectifs qui permettent la mise en œuvre d'un programme expérimental équilibré au cours des premières années d'exploitation.

Le Rapport technique (CERN/563) examine un grand nombre de techniques à utiliser pour l'exploitation de la nouvelle machine et esquisse un plan général d'exploitation, comprenant des prévisions tant des coûts correspondants que du personnel nécessaire.

Le Groupe de Travail 2 a entrepris une étude détaillée de l'utilisation de l'accélérateur afin de vérifier indépendamment, d'étayer et d'étendre les conclusions du document CERN/563. De telles études doivent se fonder sur un choix d'expériences possibles utilisant des techniques établies ou réalisables; toutefois, dans le cas présent, le Groupe de Travail 2 n'a pas cherché à faire une étude complète de l'expérimentation à 300 GeV proprement dite.

L'ECFA tient à souligner que le programme expérimental proposé dans les pages qui suivent est un programme qu'on peut envisager *en ce moment*. Il s'agit plus d'un cadre général destiné à la planification que d'un programme précis dont chaque détail revêt une signification spéciale et permanente. Au cours de la prochaine décennie, nos connaissances dans divers domaines de la physique des hautes énergies ainsi que la tendance générale des expériences et des techniques qu'elles utilisent peuvent évoluer considérablement, et le programme de recherche définitif différera certainement de celui qu'on propose maintenant.

Toutes ces considérations amènent à conclure à la nécessité absolue de procéder, environ cinq ans avant l'achèvement de l'accélérateur, à un nouvel examen et au besoin à une révision des crédits prévus au budget pour l'expérimentation et pour l'exploitation de l'accélérateur.

Sur la base des études effectuées, l'ECFA a conclu que:

- i) l'accélérateur de 300 GeV dans sa conception actuelle doit répondre au but poursuivi;
- ii) les zones d'expérimentation présentement envisagées pourront être implantées sur un site des dimensions spécifiées;
- iii) presque toutes les exigences concernant la disposition des faisceaux pourront être satisfaites au moyen des techniques actuelles;
- iv) des types de compteurs appropriés existent déjà;
- v) plusieurs grandes chambres à traces, dont une à hydrogène liquide, seront des instruments essentiels pour les recherches avec le nouvel accélérateur;
- vi) les progrès de la technologie des supraconducteurs faciliteront sans aucun doute la construction de très grandes chambres à traces ainsi que de faisceaux séparés par HF pour les expériences avec compteurs;
- vii) la grande masse de blindage nécessaire contre les radiations ne crée pas de difficultés insurmontables;

viii) sous réserve de quelques ajustements minimes, les crédits et effectifs prévus dans le Rapport technique CERN de 1964 sont à la mesure d'un programme expérimental dynamique dont l'importance ira croissant au cours des quatre premières années. A la fin de cette période, une vingtaine d'expériences avec compteurs auront pu être mises sur pied simultanément et trois grandes chambres à traces seront en service. Pour la réalisation de ce programme, on peut en outre compter sur le matériel qu'apporteront les groupes de visiteurs venant des laboratoires des Etats Membres et du CERN-Meyrin.

Le résumé de ce programme figurant au Tableau III (p. 21) indique le développement prévu des deux zones d'expérimentation envisagées, avec les faisceaux et détecteurs nécessaires. Il permet aussi de constater que les crédits et effectifs nécessaires à la réalisation du programme correspondent à ceux qui avaient été prévus. Les figures 11 à 14 illustrent divers aspects de la disposition des zones d'expérimentation et du site, des cibles et des faisceaux. (Les figures mentionnées dans ce chapitre se trouvent à l'Annexe 4, après la p. 82).

L'ECFA tient à souligner qu'un programme de cette envergure représente un niveau d'activités et un rythme de croissance qui correspondent parfaitement à l'importance de l'accélérateur proposé et au rôle qu'il est appelé à jouer. Sans être un minimum absolu, ce programme est loin d'être extravagant.

On trouvera ci-après un résumé des principales conclusions tirées des études d'utilisation *, dont les résultats figurent à l'Annexe 4 (p. 51).

IV 1 EXPÉRIENCES ET DÉTECTEURS

Rendements en particules secondaires: La conception des expériences doit se fonder sur les prédictions théoriques de rendements en particules secondaires des protons primaires, complétées si possible par les résultats de l'étude des rayons cosmiques. Il existe au moins trois méthodes différentes; l'une d'elles, fondée sur le modèle thermodynamique, et encore sous forme préliminaire, a résulté de l'étude. Tout en se présentant sous le même aspect général, les prédictions de ces théories diffèrent à certains égards. C'est pourquoi on s'est basé sur des évaluations prudentes pour la planification des faisceaux et des expériences. L'accélérateur de 70 GeV de Serpukhov devrait pouvoir fournir des informations utiles; on a tenu néanmoins à consacrer une des premières expériences à la mesure des rendements en particules secondaires jusqu'à 300 GeV.

Compteurs pour l'identification des particules de haute énergie: L'identification des particules chargées hautement relativistes dans un faisceau non séparé, en tant qu'elle diffère du simple enregistrement de leur passage, nécessite des techniques spéciales. Il ne fait pas de doute à l'heure actuelle que les compteurs Čerenkov, notamment du type différentiel DISC, s'acquitteront parfaitement de cette tâche dans tous les cas, sauf lorsqu'il s'agit de distinguer les pions et les muons, ce qui peut se faire par d'autres moyens. Aucune technique comparable à celle du compteur Čerenkov n'est connue pour la discrimination des particules en général, bien que certaines possibilités nouvelles soient à l'étude.

Expériences avec compteurs: Six expériences classiques avec compteurs, allant de la mesure des sections efficaces totales à la recherche des quarks, ont été conçues. L'expérience sur les sections efficaces totales et différentielles sera presque certainement réalisée, car les résultats attendus seront essentiels pour la connaissance de la structure nucléonique. L'expérience proposée pour l'étude de la production de paires de leptons par des photons met en évidence les possibilités de la machine en tant que source d'électrons et de photons qui pourraient être utilisés pour vérifier l'électrodynamique quantique à des énergies bien supérieures à celles atteintes par les accélérateurs d'électrons existants. En outre, on aura la possibilité de produire de nouvelles particules très lourdes comme les quarks

* Les documents de travail des divers groupes d'études sur l'utilisation de la machine sont publiés séparément: Utilization studies for a 300 GeV proton synchrotron (CERN/ECFA 67/16).

qui pourraient expliquer la symétrie des groupes de particules à interaction forte connues (figure 2).

Les études entreprises ont permis d'évaluer à 2,5 millions de francs environ le coût moyen de l'équipement (non compris le système de transport de faisceaux) d'une expérience avec compteurs réalisée au cours de la première phase. Le coût d'une expérience ultérieure plus complexe s'élèverait à près de 4 millions de francs. Aucun problème insoluble n'est apparu en ce qui concerne l'extraction et la manipulation des faisceaux et la disposition des zones d'expérimentation.

Chambres à traces: L'emploi de détecteurs visuels tant pour la physique des interactions fortes que pour celle des neutrinos sera sans aucun doute aussi indispensable que dans le cas des accélérateurs actuels. Toutefois, il serait peu réaliste de vouloir définir dès à présent la forme exacte vers laquelle évolueront les chambres à traces. Ainsi, la chambre à bulles pourrait par exemple continuer de suivre sa tendance actuelle à être un ensemble massif et indépendant ou, au contraire, devenir un élément plus petit utilisé en conjonction avec des compteurs dans des ensembles de détection complexes. Quoi qu'il en soit, on estime que quelques instruments de grande taille, y compris un type quelconque de détecteur contenant de l'hydrogène, seront indispensables au début du programme d'exploitation de l'accélérateur. Des bobines supraconductrices seront nécessaires pour obtenir les champs magnétiques très élevés, d'environ 100 kG, requis pour une résolution précise en quantité de mouvement. Une très grande chambre à bulles à hydrogène et une grande chambre à étincelles magnétique sont des détecteurs possibles dont les avant-projets ont déjà été établis. Un des projets de chambre à hydrogène (figure 3) fait appel à certains principes nouveaux qui permettraient de construire un détecteur d'un volume de 300 m³ au prix approximatif de 100 millions de francs. La réussite de ce projet sera fonction des progrès techniques et technologiques réalisés au cours des quelques prochaines années; il serait donc prudent de les mettre à l'épreuve et d'acquérir de l'expérience sur le plan opérationnel en construisant pour commencer une chambre moins coûteuse de taille intermédiaire. La construction d'une grande chambre à étincelles magnétique de 100 m³ soulèverait moins de problèmes immédiats et son coût serait de l'ordre de 35 millions de francs. Bien que l'on ne doive pas accorder une importance exagérée à ces solutions particulières, un montant de 135 millions de francs a été prévu pour la construction de grands détecteurs de ce genre. Il est peu probable que ceux-ci soient disponibles pour les toutes premières expériences; cependant, un bon démarrage du programme serait assuré par le transfert, depuis un autre laboratoire, d'une grande chambre à bulles à liquides lourds, par exemple Gargamelle, et éventuellement d'une chambre à bulles à hydrogène. On peut disposer pour cela des faisceaux nécessaires de neutrinos, de muons et de particules séparées. Il est vrai qu'avec le plan d'aménagement prévu, les bâtiments des détecteurs se trouveront à 3 km environ de la machine, mais cette disposition a déjà été envisagée dans le Rapport technique initial.

IV 2 FAISCEAUX

Les faisceaux secondaires seront d'une intensité extrêmement élevée par rapport aux normes actuelles. Ainsi, l'interaction de 10¹² protons par impulsion sur la cible permettra d'obtenir des flux de pions allant de 10⁶ pour 250 GeV/c à 10¹⁰ pour 15 GeV/c; les flux correspondants de kaons positifs seront environ 100 fois plus faibles. A 15 GeV/c ces intensités sont 10⁴ fois supérieures à celles que permet d'obtenir le PS du CERN. Certaines expériences avec la nouvelle machine exigeront des flux de cet ordre; dans d'autres cas, ces derniers permettront d'adopter des solutions plus simples et moins coûteuses pour la construction des faisceaux et l'amélioration des techniques expérimentales actuelles, sans devoir se contenter d'intensités inférieures à celles qu'on utilise en ce moment.

Le faisceau de neutrinos, en prenant les particules de toutes énergies, pourrait avoir une intensité au moins dix fois supérieure à celle atteinte avec le PS du CERN; mais le fait que le spectre des neutrinos s'étende jusqu'à 50 GeV et au-delà aura une conséquence

plus importante encore; il permettra l'exploration d'une gamme d'énergie jusqu'ici inaccessible.

La conception de la majorité des éléments de manipulation de faisceaux peut rester classique malgré la difficulté plus grande que présente la déflexion de particules d'une quantité de mouvement plus élevée, étant donné que l'angle d'ouverture et le diamètre des faisceaux primaires de protons et des faisceaux secondaires de haute énergie sont intrinsèquement plus faibles que dans le cas des accélérateurs actuels.

On a également envisagé l'emploi d'aimants supraconducteurs de déflexion et de focalisation qui permettraient d'atteindre des champs magnétiques jusqu'à quatre fois plus élevés qu'avec les éléments classiques et de réaliser en outre des économies considérables sur les dépenses d'immobilisation et d'exploitation. Il semble que, dès à présent, le coût des systèmes supraconducteurs de manipulation de faisceaux ne serait pas supérieur, dans certains cas, à celui des équipements classiques; dans d'autres cas, il serait même inférieur. Bien qu'il n'apparaisse aucune nécessité immédiate d'utiliser des faisceaux qui ne puissent être obtenus qu'à l'aide d'aimants supraconducteurs, il se trouvera certainement des applications spéciales où l'emploi de ces aimants sera tout indiqué.

En résumé, la grande majorité des dispositifs de manipulation de faisceaux semble être une simple extrapolation des systèmes actuels.

Les faisceaux séparés, fournissant par exemple des kaons séparés des protons et des pions, sont essentiels pour les expériences de chambres à bulles et certaines expériences avec compteurs. Dans le contexte qui nous intéresse, la séparation par HF est la seule qui convienne (figure 4). Plusieurs projets ont été établis qui, au début, couvriront la bande complète de quantités de mouvement de 16 à 150 GeV/c pour les kaons et les pions et jusqu'à 180 GeV/c pour les antiprotons. La quantité de mouvement maximum pourra être portée à 250 GeV/c pour les chambres à bulles lorsque ces techniques auront été mises au point.

Pour fonctionner de manière économique en régime d'impulsions longues, les faisceaux séparés destinés aux expériences avec compteurs nécessiteront des cavités HF à supraconducteurs; aucun faisceau de ce genre n'existe à ce jour, mais on a toutes les raisons d'espérer que, malgré d'énormes difficultés techniques à surmonter, les recherches actives entreprises par plusieurs laboratoires européens et américains aboutiront à de bons résultats.

Plusieurs faisceaux de neutrinos à bande de quantité de mouvement étroite pour les chambres à bulles ont déjà été conçus et un de ces faisceaux doit être incorporé à la première installation (figure 5).

IV 3 BLINDAGE CONTRE LES RADIATIONS

Les données existantes, complétées par les résultats des récents calculs selon la méthode de Monte-Carlo et par ceux de la dernière expérience du PS du CERN (voir Chapitre III, 1.2, Blindage, p. 12) permettent de déterminer assez exactement le blindage nécessaire autour des cibles et des faisceaux pour arrêter des particules à interaction forte comme les neutrons. Toutefois, contrairement à ce qui se produit dans le cas des accélérateurs actuels, les flux de muons provenant du bombardement des cibles ou autres éléments par des protons de 300 GeV sont extrêmement pénétrants et ne peuvent être ramenés à des niveaux acceptables qu'au moyen d'un blindage d'une épaisseur beaucoup plus grande que celle requise dans le cas des particules à interaction forte. On peut le constater à la figure 13, où le blindage aval (absorbeur de faisceau) derrière une cible est constitué de 15 000 tonnes de fer et mesure 80 mètres de long; en utilisant de l'uranium métallique, on pourrait construire un absorbeur plus compact et même réaliser des économies sur son coût.

Les fortes variations de charge sur le radier, jusqu'à 40 tonnes/m², résultant de changements dans la disposition de cibles et d'autres installations de faisceaux et de détecteurs, auront un effet défavorable sur le fonctionnement de la machine et des transports de faisceaux si les caractéristiques mécaniques du sol avoisinant sont médiocres.

Lorsque la disposition des lieux le permet, il serait sans doute moins onéreux de loger les faisceaux permanents dans des tunnels au lieu de les installer en surface ou très près de la surface du sol. La terre non excavée servirait ainsi de blindage naturel et dans certains cas constituerait même l'élément principal d'un bon absorbeur de muons en aval d'une cible.

Le blindage requis est très différent des blindages existants, mais sa réalisation ne comporte pas d'inconnues et on a trouvé des solutions permettant une souplesse d'exploitation suffisante.

IV 4 CONCEPTION DES POSTES DE CIBLE

La formation de faisceaux utilisables avec les particules secondaires émises lors du bombardement d'une cible externe par un faisceau de protons de 300 GeV pose de nombreux problèmes du fait que les particules secondaires sont émises à un très petit angle par rapport à la direction du faisceau primaire, que la partie inutilisée du faisceau de protons doit être récupérée pour utilisation ultérieure et que les dimensions du blindage contre les radiations sont énormes. Un projet très satisfaisant a été élaboré au cours de l'étude et tous les postes de cible, sauf un, prévus jusqu'ici dans les zones d'expérimentation sont conçus selon ce modèle (figures 9, 13 et 14). Chaque poste peut fournir au moins deux faisceaux à quantité de mouvement élevée réglable indépendamment, ainsi que deux autres faisceaux convenant à des expériences de basse énergie ou comme faisceaux d'essai.

IV 5 DISPOSITION DES ZONES D'EXPÉRIMENTATION

Deux zones principales sont prévues au début et devraient suffire pendant six années au moins. La Zone I (figures 12 et 13), destinée principalement aux expériences avec compteurs, aura des faisceaux d'une longueur ne dépassant pas 500 mètres environ; la Zone II (figure 14), destinée principalement aux chambres à traces, aura des faisceaux beaucoup plus longs qui alimenteront aussi quelques expériences avec compteurs.

On prévoit que lorsque la Zone I sera entièrement aménagée, quelque 15 expériences pourront y être montées simultanément, mais toutes ne se dérouleraient pas de manière absolument indépendante. L'aménagement de cette zone, commencé deux ans avant la mise en service de la machine, se ferait en trois étapes, échelonnées sur une période de six ans, en fonction du développement de la machine, de l'accroissement du matériel expérimental et de l'expérience générale acquise. Le coût de cette zone, des faisceaux, du blindage et de tout l'équipement expérimental pendant cette période, non compris les dépenses pour le personnel et l'exploitation, est estimé à 260 millions de francs.

La disposition de la Zone II est prévue de manière que les faisceaux de neutrinos et de particules chargées puissent traverser trois détecteurs, soit, pour les besoins de cette étude, à la chambre à bulles Gargamelle, une chambre à étincelles magnétique et une grande chambre à hydrogène. Les faisceaux séparés de particules chargées pourront également être dirigés sur des zones de compteurs où on pourra monter au moins six expériences. L'aménagement de la Zone II se ferait aussi en trois étapes mais commencerait plus tôt que celui de la Zone I; son coût total est estimé à environ 380 millions de francs, y compris les deux nouveaux détecteurs.

On a également envisagé l'aménagement d'une zone spéciale, la Zone III, qui serait alimentée par des protons de 50 GeV et réservée aux recherches de basse énergie; l'intérêt d'une telle zone réside dans un blindage beaucoup plus léger contre les muons, facilitant considérablement les modifications de faisceaux (figure 15). Son coût, y compris les faisceaux secondaires et les détecteurs de particules pour six expériences, serait de l'ordre de 45 millions de francs. Le Groupe de Travail 2 estime toutefois que l'installation d'une telle zone n'est pas souhaitable, du moins au début, car il est préférable de consacrer toutes les ressources à une exploitation de la machine à pleine énergie. En outre, cette gamme d'énergies sera disponible à Serpukhov, voire ailleurs, et des faisceaux de quantités de mouvement aussi basses pourront de toute façon être obtenus dans les Zones I et II.

L'implantation de ces zones sur un site des dimensions requises (figure 11) ne pose pas de problèmes, bien que la topographie du site soit un facteur important d'une solution optimum dans le cas de la Zone II, où tous les faisceaux seraient logés dans des tunnels.

IV 6 PROGRAMME GÉNÉRAL D'UTILISATION DE LA MACHINE PENDANT LES QUATRE PREMIÈRES ANNÉES

Les grandes lignes d'un programme expérimental éventuel sont données ci-après; il s'agit d'un programme équilibré s'échelonnant progressivement sur une période de quatre ans, au cours de laquelle le développement des Zones I et II doit atteindre le stade où elles fonctionneront à plein rendement. Pour faciliter la présentation, les travaux sont répartis en trois étapes: l'étape I allant jusqu'à l'achèvement de la construction de la machine, ou année 0, l'étape II correspondant aux années 0-2 et l'étape III correspondant aux années 2-4. Il est prévu qu'à la fin de l'étape I, six expériences avec compteurs seront montées dans la Zone I, tandis que dans la Zone II il y aura un faisceau de neutrinos, un faisceau séparé (50 GeV/c) ainsi qu'une ou deux chambres à bulles en service et une sur le point d'être terminée; une des chambres à bulles en service pourrait être Gargamelle et celle en construction serait, selon les prévisions actuelles, la grande chambre à hydrogène. A la fin de l'étape II, six nouvelles expériences avec compteurs viendraient remplacer les six premières dans la Zone I; dans la Zone II, un deuxième faisceau séparé (100 GeV/c) serait disponible et pourrait aussi à ce moment alimenter quatre expériences avec compteurs; la construction de la grande chambre à étincelles serait presque terminée et la grande chambre à bulles serait entièrement opérationnelle. A la fin de l'étape III, une quinzaine d'expériences avec compteurs seraient montées dans la Zone I; dans la Zone II, un troisième faisceau séparé (150 GeV/c) et un faisceau de muons seraient disponibles et deux nouvelles expériences avec compteurs pourraient être ajoutées, portant le total à six. Ce programme et les coûts correspondants (non compris le personnel) de la construction des zones d'expérimentation, des faisceaux et du matériel figurent au Tableau III (p. 21).

IV 7 COÛTS

Les coûts indiqués au Tableau III ont été calculés de la manière suivante:

- i) Jusqu'à l'année 0, le montant total disponible pour les installations envisagées est comme prévu dans le rapport CERN/563, à savoir 316 millions de francs, correspondant aux cinq premiers postes de la section iii) du Tableau II (p. 14). La répartition exacte nécessite une mise à jour partielle.
- ii) Pour chacune des années 1 et 2, on s'est basé sur un budget total égal à celui de la dernière année de construction, les montants prévus pour les zones d'expérimentation et l'équipement étant ceux jugés appropriés à ce stade préliminaire de l'exploitation du Laboratoire.
- iii) Pour l'étape III, les budgets d'équipement correspondants sont légèrement inférieurs à ceux de l'étape II pour tenir compte d'une intensification progressive de l'exploitation et du développement futur.

Le Groupe de Travail 2 n'a pas étudié le détail de la répartition du montant total du budget du Laboratoire au-delà de l'année 0; il estime toutefois que les montants prévus pour l'équipement sont compatibles avec les autres besoins du Laboratoire.

On peut constater que, sur cette base, le programme envisagé est parfaitement adapté aux crédits disponibles pour les étapes I et II, et qu'au cours de l'étape III il serait possible d'entreprendre la construction de nouvelles grandes installations. En fait, il devrait même y avoir une petite marge de sécurité pour les étapes I et II, car même à ce stade, la plus grande partie du programme expérimental sera réalisée par des visiteurs et des groupes de visiteurs qui utiliseront sans doute en partie leur propre équipement et qui pourraient participer à la construction de nouvelles installations telles qu'une très grande chambre à hydrogène.

TABLEAU III

Exemple de programme expérimental pour les quatre premières années d'exploitation

	ETAPE I (jusqu'à la fin de l'année 0)	ETAPE II (années 0-2)	ETAPE III (années 2-4)
Zone I	Installation de six expériences avec compteurs.	Préparation et installation de six nouvelles expériences destinées à remplacer celles de la première phase; préparation de l'équipement nécessaire pour l'étape III.	Installation de 12 expériences au début de la période. Préparatifs en vue de monter jusqu'à 15 expériences simultanées à la fin de la période.
Zone II	Implantation d'un faisceau de neutrinos à bande étroite et d'un faisceau séparé de 50 GeV. Installation sur place de Gargamelle et, éventuellement, d'une chambre à hydrogène existante. Proche achèvement d'une grande chambre à hydrogène. Début de la construction d'une grande chambre à étincelles magnétique. Installation de deux expériences avec compteurs.	Adjonction d'un faisceau de 100 GeV/c et d'un faisceau de neutrinos à bande large. Grande chambre à hydrogène entièrement opérationnelle à la fin de la période. Fin de la construction de la grande chambre à étincelles magnétique. Deux expériences avec compteurs en cours et quatre autres en préparation.	Adjonction d'un faisceau de 150 GeV/c et d'un faisceau de muons. Chambre à étincelles magnétique entièrement opérationnelle vers le milieu de la période. Quatre expériences avec compteurs en cours et deux autres en préparation pour les années suivantes.
	ETAPE I	ETAPE II	ETAPE III
	MFS	MFS	MFS
Coût de la construction des Zones I et II et de tout l'équipement* sauf les grandes chambres à traces	235	189	130
Coût des grandes chambres à traces . .	100	35	—
Coût total	335	224	130
Crédits prévus dans le Rapport CERN de 1964	316	210	180
Différence	—19	—14	+ 50
Nombre de physiciens sur place à la fin de l'étape:			
Compteurs	64	160	224
Chambres à traces	40	60	85
Nombre total de physiciens	104	220	309
Prévisions du Rapport CERN de 1964 .	140	210	314

* Le coût de l'équipement comprend les installations centrales de traitement de données, mais pas les grands ordinateurs ni les salaires qui sont imputés à d'autres rubriques. Tous les coûts aux prix de 1967.

IV 8 EFFECTIFS

L'effectif d'expérimentateurs travaillant sur place dans le cadre du programme envisagé (Tableau III) diffère peu de celui prévu dans le Rapport CERN de 1964. L'écart apparent pour l'année 0 est compatible avec l'accroissement initial rapide de cet effectif, déjà recommandé dans ce rapport et approuvé par le Groupe de Travail 2 car, en plus des physiciens chargés de la préparation d'expériences déterminées, le Laboratoire devra disposer, au cours des dernières années de construction de la machine, d'un effectif important de physiciens expérimentés en recherche des hautes énergies qui auront pour tâche de participer à l'étude d'équipements spéciaux d'utilité générale et d'apporter une aide moins spécialisée mais essentielle à la création de bases solides pour les premières années d'exploitation.

L'ECFA estime que le nombre des physiciens visiteurs et résidents ainsi que les effectifs du personnel du Laboratoire prévus dans le Rapport CERN de 1964 pour l'étude et la construction de tout l'équipement cadrent avec le taux prévu pour les dépenses d'équipement.

CHAPITRE V

SCHEMA DES CREDITS ET DU PERSONNEL NECESSAIRES POUR LE LABORATOIRE DE 300 GeV

Les Tableaux IV et V donnent les budgets annuels et les effectifs du personnel, classés par rubriques principales*. On admet que le projet sera approuvé vers la fin de 1967, auquel cas la construction effective pourrait démarrer en 1969 et s'achèverait en 1976 (une période initiale de 2½ ans est consacrée à l'acquisition et à la mise en état du terrain, ainsi qu'à l'étude technique détaillée de l'accélérateur).

Les chiffres donnés pour la construction, au tableau IV, correspondent à ceux qui figuraient dans le document CERN/563, après conversion en prix de 1967, selon la pratique du CERN. Le détail des postes correspondant à chaque rubrique principale apparaît au Tableau II, page 14. Les budgets d'exploitation ne correspondent pas exactement à ceux du document CERN/563. A la lumière des études d'utilisation, où les auteurs proposent une exploitation sensiblement plus poussée, les totaux pour 1977 et 1978 ont été relevés légèrement (de 6,5%) par rapport aux chiffres précédemment avancés, de façon à les rendre égaux à ceux prévus pour la dernière année de construction; compte tenu de l'augmentation des dépenses d'exploitation proprement dites, on peut consacrer à l'exécution du matériel expérimental, au cours de ces deux années, un total de 210 millions de francs (dépenses de personnel exclues) comme l'indique le Tableau III. Après 1978, les budgets annuels augmentent à un rythme qui fait atteindre, la cinquième année de l'exploitation (1981), un chiffre approximativement égal (sous réserve d'un ajustement

TABLEAU IV

Prévisions budgétaires annuelles pour le Laboratoire de 300 GeV

(en millions de francs suisses aux prix de 1967)

(selon le calendrier officiel, c'est-à-dire approbation du projet et choix de l'emplacement avant le 1.1.1968)

CONSTRUCTION

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	TOTAL
Accélérateur proprement dit	3,5	7,5	17,5	60,5	171,5	184,0	177,5	142,5	93,0	73,5	931,0
Installations et services généraux du Laboratoire	1,0	2,0	5,0	27,5	46,0	53,5	52,0	78,5	84,0	82,0	431,5
Travaux préparatoires destinés à la recherche sur la physique des hautes énergies	—	—	—	5,0	17,0	25,0	40,0	72,5	115,5	138,5	413,5
TOTAL	4,5	9,5	22,5	93,0	234,5	262,5	269,5	293,5	292,5	294,0	1776,0

EXPLOITATION

	1977	1978	1979	1980	1981
Exploitation de l'accélérateur et expériences	70,0	76,0	103,0	130,0	155,0
Matériel et installations pour les expériences de physique .	135,0	120,0	115,0	110,0	105,0
Installations et services généraux du Laboratoire	90,0	99,0	112,0	125,0	140,0
TOTAL	295,0	295,0	330,0	365,0	400,0

* Les mêmes chiffres figurent dans l'Addendum au Rapport sur le projet (CERN/702), à l'exception de quelques modifications minimales consécutives à la révision finale effectuée après l'élaboration du présent rapport de l'ECFA.

TABLEAU V

Prévisions d'effectifs pour le Laboratoire de 300 GeV

(chiffres de fin d'exercice, y compris auxiliaires et visiteurs mais à l'exclusion du personnel des entreprises et de la main-d'œuvre chargée de l'installation)
(selon le calendrier officiel, c'est-à-dire approbation du projet et choix de l'emplacement avant le 1.1.1968)

	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1978	1981
Recherche	—	—	—	—	—	70	120	280	370	540	940
Equipement	—	—	—	10	60	120	230	290	350	430	615
Exploitation des ordinateurs	—	—	—	30	40	60	80	100	120	150	210
Groupe machine	80	120	200	300	400	500	500	520	520	500	560
Groupes chargés des services	10	70	160	280	365	530	720	970	1150	1350	1775
TOTAL sur les lieux . . dont	90	190	360	620	870	1280	1650	2160	2510	2970	4100
ENSEMBLE DU PERSON- NEL ET DES BOURSIERS	90	190	360	620	870	1270	1630	2130	2460	2870	3880
VISITEURS	—	—	—	—	—	10	20	30	50	100	220

de prix) à celui initialement prévu dans le document CERN/563. Ces modifications sont exposées dans l'addendum au même document. Bien que présentés quelque peu différemment, les chiffres correspondant au personnel donnés au Tableau V sont essentiellement les mêmes que ceux du document CERN/563. A la différence des coûts et budgets du Tableau III, les budgets du Tableau IV comprennent les traitements du personnel et toutes les autres dépenses nécessaires pour l'exploitation du Laboratoire.

Après une étude attentive du budget de construction et des prévisions d'effectifs, le Groupe de Travail 2 est parvenu à la conclusion, que l'ECFA a faite sienne, qu'ils suffisent à l'établissement du Laboratoire de 300 GeV tel qu'il est envisagé dans le document CERN/563, y compris la préparation du tout premier stade d'utilisation. Bien qu'il soit impossible et, d'ailleurs, peu réaliste, d'examiner dans le même détail les budgets d'exploitation, on estime qu'ils permettraient également de réaliser un bon programme expérimental développé à un rythme raisonnable au cours des quatre premières années. Ces budgets devraient faire l'objet d'un nouvel examen cinq ans environ avant l'achèvement de l'accélérateur.

Les prévisions afférentes au personnel, sous réserve d'une légère redistribution éventuelle, correspondent raisonnablement aux besoins des périodes tant de construction que d'exploitation considérées. Une vérification détaillée de l'effectif des divers groupes chargés des services a montré qu'il concorde avec la répartition actuelle au Laboratoire Rutherford, si l'on tient compte de la différence de taille entre les deux établissements (Annexe III, p. 45).

CHAPITRE VI

FONCTIONNEMENT DES LABORATOIRES INTERNATIONAUX

VI 1 L'AVENIR DU CERN-MEYRIN

L'ECFA a étudié d'une manière très détaillée les activités actuelles et l'évolution prochaine du CERN-Meyrin; ses conclusions sont analysées au Chapitre VII (p. 27). Les grandes lignes du programme à long terme du Laboratoire ont été définies par le Conseil du CERN en 1965, lorsqu'il a décidé de construire les anneaux de stockage à intersections (ISR), d'augmenter l'intensité du PS d'un nouvel ordre de grandeur et de prévoir plusieurs nouveaux grands appareils qui entreront en service dans les années 1970. L'essor quantitatif et qualitatif que ces améliorations donneront aux activités du Laboratoire de Meyrin après 1970 est un des éléments essentiels du développement de la recherche en Europe entre le moment présent et la mise en œuvre du laboratoire de 300 GeV.

Dans l'étude de la future situation d'ensemble du financement et des effectifs (voir Chapitre IX, p. 34) il est nécessaire d'inclure les besoins et l'apport du CERN-Meyrin. Quoique les Groupes de Travail n'aient fait aucune étude détaillée de ces facteurs, l'ECFA estime que la description et les estimations suivantes constituent des hypothèses de travail raisonnables.

- a) La physique normale à 25 GeV se développera à partir de 1970, lorsqu'entrera en service la nouvelle zone expérimentale de 10 000 m² située sur le site ouest, en territoire français. Cette zone abritera des faisceaux de particules chargées et de neutrinos alimentant la chambre à bulles à hydrogène de 3,5 m et éventuellement d'autres grands détecteurs, ainsi qu'un grand nombre de dispositifs pour expériences électroniques. L'exploitation de cette nouvelle zone augmentera le potentiel de physique du Laboratoire de Meyrin d'environ 50% sur une période de 5 ans, avec un accroissement correspondant du nombre des utilisateurs possibles. Il convient de souligner qu'au cours de cette période le Laboratoire sera soumis à une exploitation intensive, excédant peut-être les limites du fonctionnement optimal. Il faut y voir la conséquence inévitable du nombre restreint d'accélérateurs capables de se partager la demande européenne pendant cette période.

Après 1975, le programme à 25 GeV va dépendre de l'état d'avancement du laboratoire de 300 GeV: outre les domaines entièrement nouveaux qui seront alors ouverts, beaucoup d'expériences qui se font actuellement à la limite des possibilités de l'équipement de Meyrin seront devenues faciles avec la machine de 300 GeV, en sorte qu'un déplacement important de l'intérêt et des ressources au bénéfice du nouveau laboratoire, dès 1981, pourrait être l'expression d'une saine politique, si la demande générale ou les ressources d'ensemble en Europe restaient limitées. En revanche, un accroissement plus rapide du nombre total des utilisateurs ou des restrictions aux programmes d'accélérateurs nationaux suggérées dans le présent rapport pourraient facilement se traduire par une exploitation très active du CERN-Meyrin bien après 1975, en dépit du vieillissement de l'accélérateur.

De même, le programme du SC risque d'être sensiblement affecté par l'entrée en service de l'usine à pions suisse. Si cette machine est mise largement à la disposition des groupes européens, elle pourra avantageusement prendre en charge une grande partie des recherches actuellement faites au SC.

- b) L'achèvement des ISR en 1971 mettra à la disposition de l'Europe une installation qui permettra d'étudier des collisions p-p et p-n à des énergies de centre de masse réalisables uniquement avec un accélérateur de 1700 GeV, et qui n'existeront nulle part ailleurs pendant encore des années. On peut donc admettre un développement constant de l'exploitation de cette machine se poursuivant bien après 1980.

Un groupe de physiciens du CERN a étudié les premières expériences qui pourraient être effectuées avec les ISR; il a notamment estimé le coût de l'équipement et le nombre d'exploitants. Il envisage qu'au début quatre groupes se partagent l'utilisation des ISR, deux groupes étant sur la machine tandis que les autres préparent le matériel ou analysent les données. Plus tard ce nombre pourrait être éventuellement doublé, lorsque de nouvelles zones de collision entreront en service et qu'on pourra tirer parti de l'augmentation des taux d'interactions actuellement considérée comme techniquement possible.

Les dimensions de l'équipement nécessaires les premiers temps semblent devoir être comparables à celles du matériel utilisé dans des expériences électroniques moyennes ou, dans le cas de dispositifs polyvalents, à celles d'une petite chambre à bulles: il s'agirait donc d'appareils coûtant de 1 à 10 millions de francs chacun. La participation de groupes extérieurs à l'utilisation des ISR paraît également tout à fait plausible une fois que les nouvelles techniques auront été mises au point.

En plus des activités du PS et des ISR, on admettra que certains projets de grands détecteurs destinés à l'une ou l'autre machine seront en cours de réalisation en 1974 et 1981. Les coûts indiqués au Tableau VI représentent la part du CERN, ces projets pouvant fort bien être exécutés en collaboration avec d'autres laboratoires.

TABLEAU VI
Prévisions d'effectifs et de dépenses pour CERN-Meyrin

	Nombre total d'expérimentateurs utilisant le CERN-Meyrin			Coût annuel en millions de francs aux prix de 1967		
	1966	1974	1981	1966	1974	1981
PS + SC	790	1230	650	151*	270	200
ISR	—	70	130	22*	80	100
Grands détecteurs . . .	—	—	—	—	20	10

* Correspondant respectivement à 146 et 21 millions de francs aux prix effectifs 1966.

Après avoir examiné les ressources humaines et financières nécessaires à l'ensemble du programme européen (Chapitre IX, p. 34), l'ECFA admet que la mise en service de l'accélérateur de 300 GeV aura pour effet de réduire l'ampleur et le coût des opérations de physique classique à Meyrin d'ici 1981, alors que l'utilisation des ISR ne cessera de croître au cours des dix premières années de la vie de la machine. Sur la base de ces considérations, le Tableau VI donne des estimations toutes provisoires pour les années 1974 et 1981. Les chiffres de 1974 sont la conséquence logique des programmes de construction en cours. Toutefois, les effectifs pourraient varier de 20% en plus ou en moins, étant donné que le nombre des utilisateurs «extra muros» n'est pas en rapport direct avec le nombre des utilisateurs sur place; les chiffres suggérés présument que la proportion sera la même qu'en 1966. Les coûts estimatifs retenus tiennent également compte de la possibilité d'une augmentation des dépenses par physicien au cours de cette période.

Les chiffres de 1981 sont fondés sur l'hypothèse que l'accélérateur de 300 GeV et les nouveaux accélérateurs nationaux auront pris en charge une partie importante du travail courant de physique au PS et au SC du CERN: comme indiqué précédemment, il s'agit là d'une hypothèse parmi beaucoup d'autres, et il n'y a aucune raison technique pour un ralentissement des activités après 1974 si la demande européenne totale est plus importante que ne le prévoit le Chapitre IX. La réduction envisagée du budget de 1981 par rapport à celui de 1974 posera cependant un problème considérable d'organisation, y compris la mise en disponibilité d'environ 1000 personnes et toutes les incidences d'une telle opération.

VI 2 EXPLOITATION FUTURE DES LABORATOIRES INTERNATIONAUX

Le CERN a été conçu comme un laboratoire international où les physiciens des divers pays d'Europe pourraient trouver les moyens de procéder à des expériences de physique des hautes énergies qu'ils n'auraient pas la possibilité technique d'effectuer dans d'autres conditions.

Tel doit être maintenant et à l'avenir le but principal des laboratoires centraux de physique des hautes énergies. Afin d'y parvenir, il convient d'offrir à tous les physiciens des hautes énergies appartenant aux pays participants la même possibilité d'utiliser les installations internationales. Une telle participation des physiciens des universités et des instituts nationaux de recherche aux activités des laboratoires centraux peut être plus particulièrement encouragée de la manière suivante:

- a) Les physiciens des universités et des instituts nationaux de recherche devraient avoir toutes facilités de participer, à tous les échelons, à la planification et à l'exécution des programmes futurs, expérimentaux et techniques, des laboratoires centraux.

A cette fin, la pratique actuelle du CERN consistant à organiser régulièrement des réunions, où les futurs programmes scientifiques et techniques du Laboratoire sont librement discutés avec les représentants des universités et des instituts de recherche des Etats Membres, devrait être poursuivie et développée dans tous les futurs laboratoires internationaux.

- b) Le personnel scientifique et technique permanent des laboratoires centraux doit être maintenu au minimum compatible avec l'efficacité de l'exploitation. Cette mesure permettra d'assurer une participation maximum des chercheurs de l'extérieur aux travaux de ces laboratoires. Le Tableau IX, Chapitre VII (p. 30), donne la situation actuelle en ce qui concerne le personnel scientifique, le nombre de chercheurs sur place rémunérés par le CERN étant donné en pourcentage du nombre total de chercheurs utilisant le CERN.
- c) Il serait préférable que les physiciens en visite aux laboratoires centraux, pour y faire des expériences avec compteurs ou chambres à étincelles, arrivent en groupes constitués partiellement équipés par leurs propres instituts nationaux. En général, ces groupes devraient être associés à d'autres pour former des équipes d'expérimentation, cette mesure étant destinée à assurer une utilisation efficace du temps de visite des physiciens aux laboratoires centraux. Les laboratoires internationaux pourraient éventuellement accorder une assistance technique et, dans certains cas exceptionnels, une assistance financière à ces groupes de visiteurs alors qu'ils travaillent encore à leur base nationale. Les visites individuelles ne devraient pas être trop nombreuses. La situation de chaque chercheur en visite individuelle devrait être examinée à intervalles réguliers, en particulier si la visite excède la durée d'une année.
- d) Les universités et instituts nationaux de recherche devraient s'efforcer de simplifier les déplacements des physiciens qui se rendent aux laboratoires internationaux ou en reviennent.

Le fonctionnement des grands accélérateurs et de l'équipement expérimental y afférent ne peut pas être prévu avec une précision rigoureuse. Les visites des utilisateurs d'accélérateurs à un laboratoire international doivent souvent être organisées avec un préavis de quelques jours seulement. Il devrait donc exister une procédure simple permettant aux intéressés d'obtenir, sur bref préavis et pour des périodes déterminées, un congé rémunéré. Cette procédure devrait prévoir des dispositions simples permettant aux enseignants de transmettre leurs fonctions à un suppléant.

CHAPITRE VII

SITUATION ACTUELLE DES PROGRAMMES NATIONAUX

VII 1 LA RECHERCHE AU CERN ET DANS LES ÉTATS MEMBRES

Pour étudier l'effort actuel en physique des hautes énergies au CERN et dans les Etats Membres, un questionnaire a été envoyé en octobre 1966 à tous les instituts de recherche et universités des Etats Membres du CERN s'intéressant à la physique des hautes énergies. Le questionnaire comprenait deux parties:

Les questions de la partie A concernaient le budget disponible pour la physique des hautes énergies, subdivisé en dépenses de personnel, dépenses de fonctionnement et d'entretien et dépenses d'immobilisation. Il s'agissait de déterminer le montant total de ce budget, y compris des postes tels que les salaires et autres dépenses générales souvent omises dans des enquêtes de ce genre.

Les questions de la partie B concernaient le nombre de physiciens possédant un diplôme de l'enseignement supérieur et se consacrant effectivement à la recherche dans chacune des disciplines suivantes de la physique des hautes énergies:

1. Physique théorique.
2. Physique avec compteurs et chambres à étincelles.
3. Physique avec chambres à bulles.
4. Physique des émulsions.
5. Etude de la structure nucléaire au moyen d'accélérateurs de haute énergie.
6. Physique appliquée.

Un questionnaire distinct était joint pour chaque discipline, demandant des renseignements sur chaque groupe d'âge de cinq ans en cinq ans, ainsi que le nombre de physiciens possédant un doctorat ou l'équivalent.

Pour chaque discipline, il y avait un certain nombre de questions relatives aux installations expérimentales disponibles. On y avait ajouté la rubrique «Physique appliquée» surtout pour s'assurer que les autres rubriques mentionneraient uniquement les physiciens travaillant directement à des recherches sur les particules. Cette rubrique ne donne pas un recensement complet de toutes les activités des chercheurs et ingénieurs travaillant à la mise au point et à la fabrication de l'appareillage.

Il était inévitable que ces chiffres reflètent des incertitudes inhérentes à toute étude statistique multinationale. La définition d'un budget de recherche et de l'expression «physicien de recherche» varie selon les habitudes nationales. On espère que ces incertitudes ne donnent pas une marge d'erreur supérieure à 10% pour les budgets, et que cette marge est plus restreinte encore pour le nombre des chercheurs.

Le Tableau VII (p. 28) donne la situation du personnel de recherche en physique des hautes énergies, au CERN et parmi les Etats Membres, tandis que le Tableau VIII (p. 29) récapitule les moyens financiers.

Le Tableau IX (p. 30) donne séparément le nombre d'«utilisateurs rémunérés par le CERN» et d'«autres utilisateurs» parmi les physiciens expérimentateurs qui font appel, d'une manière ou l'autre, aux installations du CERN.

Avant de poursuivre la discussion des programmes nationaux de physique des hautes énergies, il est utile de distinguer nettement dans ces activités les deux parties suivantes:

La première partie est constituée par l'analyse des données expérimentales brutes obtenues dans les laboratoires internationaux, par l'expérimentation effectuée dans ces laboratoires, par des groupes de visiteurs travaillant avec des compteurs, et par la construc-

TABLEAU VII

**Nombre de physiciens se consacrant effectivement à la physique des hautes énergies au CERN
et dans les Etats Membres en octobre 1966**

	TH	SC	BC	EM	NS	Total des physiciens expérimentateurs
Allemagne	92	113 (34)	69 (53)	8 (7)	19 (10)	209 (104)
France	117	133 (29)	144 (125)	58 (40)	20 (6)	355 (200)
Italie	183	91 (14)	116 (88)	5 (3)	20 (7)	232 (112)
Royaume-Uni	200	159 (5)	147 (86)	7 (6)	26 (6)	339 (103)
Total des quatre grands .	592	496 (82)	476 (352)	78 (56)	85 (29)	1135 (519)
Autriche.	17	2 (2)	2 (2)	—	—	4 (4)
Belgique.	34	7 (5)	9 (9)	9 (9)	3 (2)	28 (25)
Danemark	7	—	9 (8)	—	5 (3)	14 (11)
Espagne.	30	—	13 (12)	20 (15)	—	33 (27)
Grèce	7	—	5 (5)	—	—	5 (5)
Norvège.	12	2	14 (10)	—	—	16 (10)
Pays-Bas	40	3 (3)	24 (21)	—	—	27 (24)
Suède	29	6 (5)	10 (10)	—	13 (9)	29 (24)
Suisse.	20	24 (24)	2 (2)	10 (9)	1 (1)	37 (36)
Total des neuf autres . .	196	44 (39)	88 (79)	39 (33)	22 (15)	193 (166)
TOTAL ÉTATS MEMBRES DU CERN	788	540 (121)	564 (431)	117 (89)	107 (44)	1328 (685)
Travaillant à Meyrin et rémunérés par le CERN	39	54	43	7	4	108
TOTAL GÉNÉRAL EUROPE	827	594	607	124	111	1436

Notes du Tableau VII:

1. Signification des symboles en tête des colonnes:

TH Physique théorique

SC Compteurs et chambres à étincelles

BC Chambres à bulles

EM Emulsions nucléaires

NS Structure nucléaire (sur accélérateurs de haute énergie)

2. Les chiffres concernent les physiciens possédant un diplôme de l'enseignement supérieur et travaillant dans l'enseignement et/ou la recherche. Les étudiants non diplômés, les techniciens, etc., ne sont pas comptés.

3. Le chiffre entre parenthèses désigne le nombre de physiciens expérimentateurs non rémunérés par le CERN, qui travaillent exclusivement à recueillir des données expérimentales au CERN ou à analyser les données expérimentales recueillies dans ce laboratoire. Ces physiciens travaillent soit dans leur pays soit au CERN en qualité de visiteurs non rémunérés, ou les deux à la fois.

4. Les chiffres du CERN couvrent le personnel, les boursiers et les visiteurs rémunérés.

tion d'équipements importants destinés à servir dans les laboratoires internationaux. C'est l'aspect de la recherche dans les pays participants qui dépend entièrement de l'existence des laboratoires internationaux.

La deuxième partie est l'obtention et l'analyse de données expérimentales qui n'ont rien à voir à aucun stade avec les laboratoires internationaux: par exemple, la construction d'accélérateurs nationaux et du gros équipement y afférent, les expériences avec compteurs effectuées et analysées dans les laboratoires nationaux, les clichés de chambres à bulles pris à Nimrod et analysés à Paris, etc.

Les principaux enseignements qui se dégagent des chiffres donnés dans les tableaux sont discutés ci-après.

En octobre 1966, il y avait 790 physiciens théoriciens, 1330 expérimentateurs et au moins 380 physiciens appliqués travaillant dans le domaine des hautes énergies dans les Etats Membres du CERN. En outre, 40 théoriciens, 110 expérimentateurs et environ 100 physiciens appliqués venant des Etats Membres travaillaient au CERN en qualité de membres du personnel, de boursiers ou de visiteurs rémunérés.

TABLEAU VIII

Dépenses consacrées à la physique des hautes énergies au CERN et dans les Etats Membres au cours de l'année 1966
(en millions de francs suisses aux prix de 1966)

	Budget national hautes énergies 1966	Budget national 1966 dépensé en association directe avec CERN (Partie 1 du programme national)	Contribution au programme de base CERN 1966	Partie 1 du programme national Contribution programme de base CERN	Contribution totale CERN 1966	Budget national total Contribution totale CERN
Allemagne.	66	12	34,0	0,35	40,0	1,7
France	137	34	28,2	1,21	33,2	4,1
Italie	43	10	16,4	0,61	19,4	2,2
Royaume-Uni	125	7	32,3	0,22	38,0	3,3
Total des quatre grands	371	63	110,9	0,57	130,6	2,8
Autriche	0,7	0,3	2,8	0,11	3,3	0,2
Belgique	3,1	1,9	5,2	0,37	6,1	0,5
Danemark.	0,9	0,6	3,0	0,20	3,5	0,3
Espagne.	1,6	0,9	5,0	0,18	5,9	0,3
Grèce.	0,8	0,6	0,9	0,67	0,9	0,9
Norvège.	1,0	0,4	2,1	0,19	2,5	0,4
Pays-Bas	4,4	3,4	5,7	0,60	6,7	0,7
Suède.	3,3	1,1	5,9	0,19	6,9	0,5
Suisse.	4,5	2,5	4,5	0,56	5,3	0,8
Total des neuf autres .	20	12	35,1	0,34	41,1	0,5
TOTAL GÉNÉRAL	391	75	146	0,51	172	2,3

Notes du Tableau VIII:

1. Les chiffres des budgets nationaux comprennent les frais généraux et les traitements de tous les physiciens et personnels auxiliaires.
2. Les chiffres des dépenses au titre de la partie 1 des programmes nationaux sont des estimations. Le coût de la physique théorique effectuée en relation avec le CERN n'est pas compris.
3. La différence entre la contribution au programme de base et la contribution totale au CERN couvre la mise en chantier des ISR et le programme d'études du PS de 300 GeV.
4. Les rapports de la dernière colonne ont été inclus du fait qu'ils ont été l'objet de références fréquentes dans le passé, par exemple dans le Rapport ECFA 1963.

Parmi les expérimentateurs dans les Etats Membres, 690 travaillaient exclusivement avec le CERN, soit comme membres d'une équipe de visiteurs travaillant avec des compteurs, etc., soit à l'analyse de données obtenues au CERN. Ainsi, $690/1330 = 52\%$ des physiciens expérimentateurs dans les Etats Membres dépendent pour l'instant entièrement du CERN. Si l'on ajoute les 110 physiciens rémunérés par le CERN, on trouve que $800/1440 = 55\%$ des expérimentateurs au CERN et dans les Etats Membres dépendent de l'activité du CERN. Parmi ceux-ci, $110/800 = 14\%$ émargent au budget du CERN, environ la moitié d'entre eux seulement étant membres du personnel. Aucune tentative n'a été faite pour subdiviser de la sorte les théoriciens et les physiciens appliqués.

Sur des budgets nationaux se montant au total à 391 millions de francs, 75 millions ont été dépensés en 1966 à des expériences au CERN ou à des analyses de données obtenues au CERN, c'est-à-dire au titre de la première partie des programmes nationaux. Cette somme correspond à environ 0,11 million de francs par physicien par année, puisqu'elle a été consacrée aux 690 expérimentateurs qui dans les Etats Membres dépendent entièrement du CERN.

TABLEAU IX

Répartition des physiciens expérimentateurs européens se servant des installations du CERN en octobre 1966

	A	B		$\frac{A}{A+B}$
	Utilisateurs sur place rémunérés par le CERN	Utilisateurs non rémunérés par le CERN		
		Total	Au CERN en octobre 1966	
Compteurs et chambres à étincelles . .	54	121	71	0,31
Chambres à bulles	43	431	22	0,09
Emulsions	7	89	4	0,07
Structure nucléaire	4	44	26	0,08
Total physique expérimentale	108	685	123	0,14

Notes du Tableau IX:

1. Les chiffres de ce tableau doivent être considérés uniquement comme de bonnes approximations.
2. La colonne A groupe tous les expérimentateurs européens spécialistes de physique des particules, rémunérés par le CERN et y travaillant pendant un an ou davantage. Elle inclue donc les boursiers et attachés de recherche du CERN, ainsi que les chercheurs rémunérés en visite de longue durée.
3. Le nombre d'utilisateurs non rémunérés par le CERN est exprimé en nombre de chercheurs à plein temps. L'expression « à plein temps » n'implique pas ici que les intéressés travaillent à plein temps à la recherche. Nombre d'entre eux consacrent une partie de leur temps à l'enseignement ou à l'administration, mais ils sont considérés comme physiciens à plein temps. Toutefois, les chiffres donnés ne correspondent qu'à la fraction de leur temps de recherche passé à travailler en relation avec le CERN, par opposition à leur travail auprès d'autres accélérateurs.
4. Les chiffres donnés dans la deuxième colonne de la catégorie « utilisateurs non rémunérés par le CERN » représentent le nombre d'utilisateurs de cette sorte effectivement présents au CERN en octobre 1966 pour des visites d'au moins un mois. Sur le total de 123 utilisateurs de cette catégorie, 28 se trouvaient au CERN pour une période de deux ans ou davantage.

On a obtenu le montant total consacré par chaque institut de recherche à sa collaboration directe avec le CERN, en soustrayant du budget total de l'institut ou de l'université les dépenses de personnel afférentes aux physiciens théoriciens, estimées à 20 000 francs par personne par an. La portion restante du budget a ensuite été multipliée par le rapport existant entre le nombre d'expérimentateurs et de physiciens appliqués travaillant directement avec le CERN et le nombre total de personnes des mêmes catégories travaillant dans l'institut ou l'université en question. Les 75 millions de francs obtenus représentent 51% du programme de base du CERN, dont le coût est de 146 millions de francs. La plus grande partie de ces 75 millions dépensés pour la recherche nationale qui dépend du CERN est allée à l'analyse des photographies de chambres à bulles. Sans ces crédits, le CERN ne serait pas pleinement exploité, étant donné que ce sont des usagers de l'extérieur qui non seulement analysent 85% des photographies de chambres à bulles prises au CERN, mais également effectuent et analysent un grand nombre d'expériences dans les domaines des compteurs, des chambres à étincelles, des émulsions et de la structure nucléaire.

En octobre 1966, 640 physiciens expérimentateurs des Etats Membres se consacraient à des recherches nationales indépendantes en physique des hautes énergies (deuxième partie des programmes nationaux). Avec les 790 physiciens théoriciens et les 380 physiciens appliqués, ces expérimentateurs disposaient d'un budget global annuel de 316 millions de francs. Cette somme représente 1,8 fois les crédits de 172 millions de francs consacrés en 1966 à une participation directe aux projets internationaux.

TABLEAU X

Accélérateurs de haute énergie en Europe (projets nationaux) produisant des particules d'une énergie supérieure à 200 MeV

(achevés ou en construction et dont l'exploitation est prévue en 1967)

Implantation	Type	Energie	Date de la mise en service	Observations
1. Synchrotrons à protons				
Chilton (RU) (Nimrod)	WF	7 GeV	1963	
Saclay (France) (Saturne).	WF	3 GeV	1958	
2. Synchro-cyclotrons				
Université de Liverpool (RU)	SC	0,4 GeV	1954	Fermeture prévue fin 1968
3. Synchrotrons à électrons				
Hambourg (R.F.A.) (DESY)	AGS	6 GeV	1964	Fermeture prévue fin 1968
Liverpool (RU) (Nina)	AGS	4 GeV	1966	
Université de Bonn (R.F.A.)	AGS	2,3 GeV	1967	
Université de Lund (Suède)	AGS	1,2 GeV	1963	
Frascati (Italie)	WF	1,1 GeV	1959	
Université de Bonn (R.F.A.)	AGS	0,5 GeV	1959	
Université de Glasgow (RU)	WF	0,45 GeV	1954	
4. Accélérateurs de collisions et anneaux de stockage				
Frascati (Italie) (Adone)	e ⁺ e ⁻ AGS	1,5 GeV	1967	Particules accélérées de 400 à 1500 MeV
Orsay (France)	e ⁺ e ⁻ AGS	0,5 GeV	1966	
5. Accélérateurs linéaires d'électrons				
Orsay (France)	LA	2,3 GeV	1961	Conception originale de l'accélération des positons: intensité moyenne de 3 × 10 ¹² e ⁺ /s à 350 MeV (70 µA à 180 MeV)
Frascati (Italie) (Adone)	LA	0,45 GeV	1966	
Mayence (R.F.A.)	LA	0,31 GeV	1966	

WF = focalisation faible; AGS = synchrotron à gradient alterné; SC = synchro-cyclotron; LA = accélérateur linéaire.

VII 2 ACCÉLÉRATEURS NATIONAUX

Les accélérateurs nationaux actuellement en service (ou en voie d'achèvement) en Europe sont énumérés au tableau X. Depuis 1963 on a construit les accélérateurs suivants:

Nina, le synchrotron à électrons de 4 GeV, a commencé à fonctionner en décembre 1966.

L'Université de Mayence a mis en activité un accélérateur linéaire d'électrons de 200 MeV.

Le synchrotron à électrons de 2,3 GeV, situé à Bonn, est entré en service en mars 1967.

Adone, l'anneau de collision électron-positon de Frascati, est en voie d'achèvement et ouvrira des perspectives tout à fait nouvelles.

Les plans de l'usine à pions proposés par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich sont terminés et la mise en chantier est imminente. L'ECFA renouvelle vivement sa recommandation en faveur de cette machine extrêmement intéressante et de conception originale.

L'ECFA note que les milieux européens manifestent toujours un grand intérêt pour le synchrotron à protons de 45 GeV et l'usine à kaons qui avaient été recommandés en 1963.

CHAPITRE VIII

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT DES PROGRAMMES NATIONAUX DE PHYSIQUE DES HAUTES ÉNERGIES A COURTE ET A PLUS LONGUE ÉCHÉANCE

RECHERCHE NATIONALE DÉPENDANT DU CERN DANS LE DOMAINE DES HAUTES ÉNERGIES

Pour estimer l'ampleur qu'il y a lieu d'accorder à la première partie du programme national de recherche, il convient de noter qu'en 1966 les accélérateurs existant au CERN se trouvaient en pleine exploitation, alors que la construction de nouvelles machines n'avait pas réellement commencé. La participation de physiciens extérieurs aux expériences réalisées au CERN a atteint en 1966 un niveau élevé et satisfaisant, qui devrait être maintenu à l'avenir.

Tant qu'on continue à suivre la politique de participation maximum des physiciens extérieurs, on a de bonnes raisons d'admettre que les montants dépensés chez eux par les Etats Membres pour cette participation — soit 75 millions de francs ou 50% du budget du programme de base du CERN en 1966 — devront être majorés pour le moins dans les mêmes proportions que ce budget de base du CERN lui-même.

On considère ici que le programme de base comprend l'exploitation et la mise en œuvre des accélérateurs du CERN au sens le plus large du terme. Il n'englobe donc pas, par exemple, la construction de nouveaux accélérateurs internationaux, mais il inclut en revanche la préparation, longtemps à l'avance, des installations expérimentales destinées à ces nouveaux accélérateurs, ainsi que le programme actuel d'améliorations à Meyrin.

RECHERCHE NATIONALE INDÉPENDANTE DANS LE DOMAINE DES HAUTES ÉNERGIES

La recherche en physique des hautes énergies, comme dans les autres domaines de la science, exige les instruments appropriés. Pour la physique des hautes énergies, il s'agit surtout d'instruments trop gros et trop onéreux pour être construits et exploités par chaque université; ce fait justifie l'existence de laboratoires nationaux, dont l'accès est généralement facile à un groupe d'universités voisines collaborant dans ce domaine d'activité.

Etant donné que le niveau des recherches dépend dans une large mesure de la possibilité de disposer des instruments les plus modernes (accélérateurs de types et dimensions variés, grands centres d'analyse des données, etc.), il est clair que les dépenses consacrées aux programmes nationaux de physique des hautes énergies influent fortement sur la qualité et la quantité de l'ensemble des recherches européennes en la matière.

Chaque pays doit avoir un bon programme de recherche nationale indépendante, dûment proportionné à sa participation à l'œuvre internationale, afin de profiter pleinement du stimulant scientifique et technique que fournit la recherche effectuée à l'une des principales marches du savoir humain.

ACCÉLÉRATEURS NATIONAUX ET RÉGIONAUX

L'ECFA estime nécessaire de rappeler que ce sont les accélérateurs nationaux qui constituent l'ossature des programmes nationaux et indépendants de recherche, pour les grands pays et, sans doute aussi, pour des groupes de petits pays. Des recherches nationales indépendantes dans le domaine des hautes énergies devraient donc être effectuées dans un certain nombre de centres des Etats Membres. Ces centres devraient être géographiquement bien répartis, de sorte que chaque université puisse y accéder de façon

relativement commode. Etant donné que le nombre des accélérateurs décroîtra nécessairement au fur et à mesure que leurs dimensions augmenteront, chaque accélérateur devrait, autant que possible, être exploité à titre international, même s'il a été construit par un service national.

Dans le contexte des connaissances actuelles, l'ECFA estime qu'il serait souhaitable, par exemple, de prévoir les accélérateurs suivants: un synchrotron à protons d'intensité normale et d'énergie intermédiaire entre celles du PS du CERN et de l'accélérateur de 300 GeV, un anneau de stockage d'électrons et de positons à une énergie supérieure à celle dont on dispose jusqu'ici, un grand accélérateur d'électrons avec un bon taux d'utilisation et une usine à kaons.

L'ECFA souligne que l'évolution future pourrait modifier l'intérêt qu'on porte à telle ou telle catégorie d'accélérateurs. En prévoyant la construction d'accélérateurs nouveaux, il y a donc lieu notamment de tenir compte de la possibilité de machines originales, comme de concepts entièrement nouveaux pour l'accélération des particules.

Par ailleurs, certaines des machines actuellement en service devront graduellement être désaffectées, leurs activités étant reprises par des accélérateurs de conception plus moderne, ainsi qu'il est supposé dans d'autres parties du présent rapport.

Un programme d'accélérateurs nationaux ou régionaux, d'une telle ampleur, non seulement se justifie du point de vue scientifique, mais paraît encore réaliste dans ses aspects financiers: comme il est indiqué au Chapitre IX, Tableau XI (p. 37), le coût annuel d'exploitation et de réalisation d'un programme assez modeste conçu selon ce principe passerait de quelque 320 millions de francs en 1966 à environ 650 en 1981, année où l'accélérateur de 300 GeV serait en service. Le rapport de ce coût à celui des laboratoires internationaux tombe de $320/177=1,8$ en 1966 à $650/780=0,85$ en 1981, ce qui traduit l'importance grandissante des projets internationaux.

L'ECFA considère toutefois que le juste équilibre entre activités nationales et activités internationales risquerait d'être compromis si ce coefficient tombait trop au-dessous de l'unité.

RECOMMANDATIONS SPÉCIALES AUX PAYS DÉPOURVUS D'ACCÉLÉRATEURS NATIONAUX

L'ECFA s'est particulièrement préoccupé des petits Etats Membres dépourvus d'accélérateurs nationaux. Selon une étude du Groupe de Travail 1 sur les groupes travaillant effectivement au moyen de chambres à bulles et de compteurs en Europe à l'heure actuelle, le budget d'un groupe de physique des chambres à bulles varie de 1 pour un groupe très modeste à 3 millions de francs par an pour un groupe important comprenant, par exemple, une quinzaine de physiciens disposant d'appareils d'analyse fortement automatisés. Pour un groupe utilisant des compteurs, il faut compter environ 1 million de francs par an. Ces sommes comprennent les traitements et autres frais généraux.

On peut estimer qu'un niveau *minimum* raisonnable pour ces pays, dans l'avenir immédiat, correspond à un groupe de physique des chambres à bulles et un groupe utilisant des compteurs pour chaque tranche de 10 millions d'habitants. Le coût unitaire d'une telle participation varie de 2 à 4 millions de francs par an, le choix entre ces deux limites devant se faire d'après des facteurs tels que le revenu national par tête et le nombre de physiciens par million d'habitants. Il convient toutefois de souligner que les pays dépourvus de programmes nationaux indépendants de recherche en physique des hautes énergies profiteraient mieux de leur adhésion au CERN s'ils consacraient, à l'expérimentation aux hautes énergies effectuée chez eux, une somme un peu supérieure au minimum absolu.

Outre la participation aux activités du CERN, il y aurait également lieu d'étudier les possibilités de collaboration active avec les grands pays pour l'exploitation des accélérateurs nationaux.

CHAPITRE IX

MODÈLE POSSIBLE DE PROGRAMME EUROPÉEN: COÛTS ET EFFECTIFS, 1966-1981

Les deux thèmes principaux du présent rapport sont l'accélérateur de 300 GeV et l'organisation des programmes, tant nationaux qu'internationaux, nécessaires à un judicieux effort européen d'ensemble en physique des hautes énergies. La question de l'ampleur à donner aux programmes nationaux combinés n'a pas été approfondie; les plans détaillés de chaque pays, ainsi que les avantages des divers projets actuellement à l'étude, l'ont été encore moins. Néanmoins, comme en 1963, l'ECFA a jugé essentiel de replacer ses études de problèmes séparés dans la perspective d'un hypothétique programme européen d'ensemble, pour:

- a) examiner de façon plus concrète les relations entre les différentes parties du tout, afin d'éviter les incompatibilités;
- b) s'assurer que le total des ressources, tant en crédits qu'en personnel, nécessaires à cette branche de la physique, pourrait se justifier dans tout débat plus général portant sur la politique scientifique globale ou sur la répartition des ressources nationales consacrées à la recherche.

L'ECFA de 1963 a effectué la première analyse de ce genre pour l'ensemble de l'Europe; c'est pourquoi il a eu soin d'étendre son étude à tous les accélérateurs possibles et a présenté un programme explicitement qualifié de développement maximum pour l'Europe. Il s'accompagnait d'un programme minimum correspondant aux accélérateurs particulièrement souhaitables. Les quatre années qui se sont écoulées ont permis de mieux apprécier les possibilités de réaliser le programme intégral; l'ECFA a donc estimé préférable d'envisager cette fois un programme assez modéré, afin d'établir clairement:

- a) que la décision fondamentale de construire l'accélérateur de 300 GeV est de celles que les gouvernements peuvent prendre sans risque d'engager exagérément les ressources de l'Europe en personnel scientifique et en crédits;
- b) qu'en outre la poursuite de la construction et de l'exploitation des accélérateurs nationaux se justifie, par les mêmes critères, à un rythme au moins égal à celui que l'ECFA de 1963 proposait pour minimum. Au-delà, toute une série de programmes souhaitables reste à décider au cours des années à venir.

Il convient donc de se souvenir, en lisant le rapport, que le programme et les chiffres tirés du modèle considéré ici ne sont pas des objectifs recommandés par l'ECFA: ils se rapportent à ce modèle particulier, qui a été choisi pour les raisons exposées ci-dessus.

Bien que les chiffres globaux permettent de tirer un programme moyen pour chaque pays, il faut s'attendre dans l'application à des variations individuelles, selon l'état de développement atteint dans chaque pays par la physique des hautes énergies, ainsi que les dimensions et l'âge des accélérateurs existants.

L'ensemble du programme se divise en deux, d'après la gestion des installations:

- A. Le programme international, qui comprend essentiellement le Laboratoire de 300 GeV et le CERN-Meyrin.
- B. Les programmes nationaux ou régionaux, subdivisés à leur tour en deux parties: d'une part, la collaboration des groupes extérieurs avec les laboratoires internationaux (partie 1) et, d'autre part, les accélérateurs proprement nationaux, avec leurs groupes de recherches (partie 2).

Aux fins du présent rapport, il suffit de décrire les diverses parties du programme telles qu'elles se présentent à trois dates:

— 1966, pris pour point de départ connu;

- 1974, année où la construction du PS de 300 GeV atteindra son apogée; où le CERN-Meyrin, avec les ISR et les améliorations, sera en pleine activité alors qu'aucun accélérateur nouveau ne se trouvera encore pleinement en service;
- 1981, année où le PS de 300 GeV sera bien rodé et aura succédé au CERN-Meyrin pour jouer le premier rôle en Europe, tandis que les nouvelles machines nationales seront aussi en pleine exploitation.

Ces dates s'étendent sur un espace de 15 ans; et c'est d'ailleurs la période minimum permettant d'apprécier les effets de l'exploitation du PS de 300 GeV. Une telle période dépasse de beaucoup cependant celles qu'on a l'habitude de considérer en élaborant les plans relatifs aux autres sciences, ce qu'il y a lieu de constamment garder présent à l'esprit pour examiner les chiffres qui en découlent.

On trouvera ci-après les hypothèses afférentes à ce programme modèle, avec les effectifs et les coûts correspondants.

A. PROGRAMME INTERNATIONAL

- i) **Laboratoire du PS de 300 GeV:** La construction et, par conséquent, les effectifs et les coûts de cet accélérateur suivent le tableau qui figure en Annexe au Rapport sur le Projet d'un Synchrotron à Protons de 300 GeV et qu'on a résumé ici au Chapitre V (p. 22). Le programme de physique débute en 1976 et se développe dans le sens indiqué par l'étude des utilisations effectuée par l'ECFA et exposée au Chapitre IV (p. 15). On estime donc le budget du Laboratoire en 1981 à quelque 400 millions de francs, contre 295 lors de l'achèvement de la construction, cinq ans plus tôt.
- ii) **CERN-Meyrin:** Les hypothèses utilisées dans ce modèle sont indiquées en détail au Chapitre VI (p. 24). Jusqu'en 1974, elles ne sauraient guère s'écarter de la réalité, étant donné le programme auquel s'est maintenant engagé le Laboratoire et l'extension croissante des demandes émanant d'utilisateurs extérieurs. L'hypothèse retenue pour 1981 tient compte de l'attraction qu'exerceront le PS de 300 GeV, un nouveau PS national d'énergie moyenne et l'usine suisse à pions, pour répartir certains utilisateurs actuellement forcés de s'adresser tous à Meyrin. On admet d'autre part qu'un abondant programme expérimental s'effectuera sur les ISR, aucune autre installation comparable n'existant ailleurs dans le monde.

Les budgets de fonctionnement suivent cette évolution de l'exploitation, compte tenu de la complexité croissante des techniques au cours des dernières années.

- iii) **Autres activités internationales:** Outre l'exploitation précitée du PS de 300 GeV et du Laboratoire de Meyrin, certaines autres activités, organisées et financées dans un cadre international, s'effectueront probablement au cours de la même période. A titre d'exemples possibles on peut citer:
 - le projet d'un grand appareil joint aux ISR;
 - une chambre à bulles géante pour le PS de 300 GeV;
 - la collaboration avec Serpukhov et avec les Etats-Unis;
 - dès 1981, le début d'améliorations pour l'accélérateur de 300 GeV;
 - certaines dispositions de remplacement du PS du CERN ou de nouvelles améliorations.

Certains de ces projets présenteraient un caractère purement international, tandis que d'autres se réaliseraient par la collaboration du CERN avec un ou plusieurs Etats Membres, comme c'est actuellement le cas pour les chambres à bulles.

Les estimations actuelles de coûts ne tiennent pas compte de cette catégorie de dépenses d'équipement et certains montants nominaux ont donc été inscrits sous des rubriques séparées au Tableau XI (p. 37).

B. PROGRAMMES NATIONAUX ET RÉGIONAUX

- i) « **Partie I** », c'est-à-dire participation de groupes extérieurs au programme des laboratoires internationaux. Comme il ressort de l'analyse effectuée au Chapitre VII, Tableau IX (p. 30), l'effectif total des utilisateurs européens du CERN a été en 1966 3,4 fois supérieur à l'effectif présent sur les lieux, soit 790 (108 + 685) contre 230 (108 + 123). On suppose que ce coefficient se maintiendra à l'avenir pour le PS et le SC du CERN, le total augmentant de 50% en 1974, avec la mise en service intégrale de la nouvelle zone expérimentale ouest, etc.

En se fondant sur la situation de 1966, l'ECFA considère qu'on ne peut équilibrer ainsi l'effectif des utilisateurs sur place et des utilisateurs « extra muros », pour assurer un fonctionnement efficace du CERN, que si les groupes extérieurs reçoivent au total, sur les fonds de recherche de leurs pays, une somme correspondant à la moitié environ du budget d'exploitation du CERN.

Pour le PS de 300 GeV, l'exploitation, au début, s'effectuera davantage au Laboratoire même, mais on admet que le pourcentage des utilisateurs « extra muros » augmentera pour égaler en 1981 celui du CERN-Meyrin et que le total des crédits qu'ils recevront des budgets de leurs pays s'élèvera aussi pour atteindre la moitié environ du budget d'exploitation de l'accélérateur de 300 GeV.

Outre ce concours aux programmes expérimentaux des laboratoires internationaux, les laboratoires nationaux participeront périodiquement à la réalisation de grands appareils, ou à certaines des autres formes de collaboration internationale mentionnées en A iii) ci-dessus; dans les prévisions futures, il y a donc lieu de tenir compte du coût de ces travaux.

- ii) « **Partie 2** », c'est-à-dire les activités des grands laboratoires nationaux dotés d'accélérateurs et des groupes universitaires associés qui, dans certains cas, exploitent de petites machines (synchrotrons à électrons, etc.). Une description de ce programme doit nécessairement rester très schématique, puisque l'ECFA n'est ni mandaté ni compétent pour recommander à tel ou tel pays des projets déterminés. Néanmoins, il est clair que les accélérateurs nationaux actuels ne peuvent avoir, dans leur forme présente, qu'une durée utile limitée, et l'ECFA a donc recommandé d'une manière générale que, sous les diverses formes suggérées au Chapitre VIII (p. 32), ils soient améliorés ou remplacés, faute de quoi ils freineraient le progrès européen au lieu d'y contribuer.

Compte tenu des recommandations du Chapitre VIII, par conséquent, l'exemple prudent de programme actuel comprend un nouveau synchrotron à protons, dont la construction doit s'achever vers 1974 et, un peu plus tard, une ou deux nouvelles machines représentant une dépense globale et une capacité totale sensiblement égales au coût et à la capacité de ce nouveau PS national.

Les coûts de construction des accélérateurs apparaissent au Tableau XI sous la rubrique « gros équipement »; le chiffre pour 1966 comprend l'achèvement de Nina et les coûts d'exécution d'Adone, du synchrotron de Bonn, de l'ACO d'Orsay, etc. Pour 1974, 80 millions de francs sont attribués au nouveau PS et 70 millions aux autres machines. En 1981, on a prévu 50 millions pour les projets d'améliorations ou pour la construction d'autres accélérateurs nouveaux.

Pour la période 1974-1981, on suppose que les machines les plus anciennes auront été arrêtées et que d'autres, déjà améliorées et complétées avant 1975, seront du moins exploitées à régime réduit, si elles n'ont pas été entièrement remplacées dès 1981.

Dans l'exemple retenu ici, l'effectif des expérimentateurs travaillant sur des machines nationales ne saurait guère dépasser beaucoup celui de 1966, étant donné que les nouvelles machines sont considérées comme devant remplacer celles qui existent et ouvrir de meilleures possibilités techniques, mais sur une échelle d'exploitation analogue. Les dépenses de fonctionnement, qui passent de 270 à 600 millions

TABLEAU XI

Effectif et coûts afférents au modèle de programme

(Effectif des physiciens européens expérimentateurs; tous les coûts sont donnés en millions de francs suisse, aux prix de 1967)

	Effectif figurant sur les bordereaux de traitement ¹			Coût annuel		
	1966	1974	1981	1966 ²	1974	1981
A. Programme international						
i) Laboratoire 300 GeV						
exploitation	—	—	200	—	—	400
gros équipement	—	20	—	4	280	20
ii) CERN-Meyrin, exploitation						
PS+SC	108	170	120	151	270	200
ISR	—	30	60	—	80	100
iii) Autres projets internationaux	—	—	—	22	30	60
SOUS-TOTAL POUR A.	108	220	380	177	660	780
B. Programmes nationaux et régionaux						
i) «Partie 1»						
Laboratoire de 300 GeV						
exploitation	—	20	1500	—	10	380
CERN-Meyrin, exploitation						
PS+SC+ISR	685	1100		80	170	
Autres projets.	—	—		5 ³	20	
ii) «Partie 2»						
Groupes universitaires	480	750	850	60	400	650
Grands laboratoires						
exploitation	163			210		
gros équipement	—	—	—	50	150	
SOUS-TOTAL POUR B.	1328	1870	2350	405	750	1030
TOTAL GÉNÉRAL	1436	2090	2730	582	1410	1810

Notes du Tableau XI:

¹ Effectif des physiciens expérimentateurs rémunérés par l'institution correspondante, qu'il s'agisse de membres du personnel, de visiteurs, etc.

² Pour assurer la concordance avec les années ultérieures, les coûts ont été calculés aux prix de 1967 et dépassent donc légèrement ceux qui figurent au Tableau VIII.

³ Montant nominal correspondant à la construction de Gargamelle, etc.

de francs suisses en 1981, découlent de la taille des nouvelles machines, du lent accroissement de l'exploitation, et du facteur habituel correspondant au perfectionnement et à la complexité accrue avec le temps.

L'effectif total de physiciens que supposent ces programmes augmente de 45% entre 1966 et 1974, puis de 31% de 1974 à 1981. Ces pourcentages correspondent à une croissance annuelle quasi régulière de 4,5%. Ce dernier chiffre est très inférieur au taux de croissance réalisé récemment en physique des hautes énergies et dans presque toutes les autres branches de la science. Ce qui est plus important, il représente pour de nombreux pays européens environ la moitié des taux de croissance enregistrés jusqu'à présent du nombre d'enfants qui approchent de l'âge où ils doivent quitter l'école et entrer à l'université. Ces enfants comptent parmi eux les futurs physiciens qui travailleront avec l'accélérateur de 300 GeV; par conséquent, le taux de croissance prévu pour l'effectif

des usagers indique qu'avec le programme proposé, la proportion des étudiants qui choisissent la carrière de la physique des hautes énergies et y demeurent diminuera considérablement à l'avenir. Cette constatation est très voisine de celle de l'étude effectuée en 1964 par la « National Science Foundation » pour le programme de physique des hautes énergies aux Etats-Unis (voir « Report by the Joint Committee on Atomic Energy, Congress of the United States », publié en février 1965), d'où il ressort que la moitié seulement des étudiants diplômés qui préparent un doctorat en physique des hautes énergies pourront être employés sur les accélérateurs américains, y compris le PS de 200 GeV proposé.

Le coût total des programmes ne présente pas un taux constant de croissance annuelle, comme les effectifs; au contraire, ce taux est de 11,5% entre 1966 et 1974, contre 4% ensuite jusqu'en 1981. Cette situation tient au fait que ni en 1966, ni en 1981, il n'y a lieu comme en 1974 de faire face à la dépense de 430 millions de francs afférente à la construction du PS de 300 GeV et des accélérateurs nationaux. Si l'on supprimait cette même somme en 1974, les facteurs de croissance au cours des deux périodes deviendraient 1,7 et 1,8, c'est-à-dire qu'ils correspondraient à des budgets d'exploitation normaux, avec des taux annuels de croissance de 7 et 9% respectivement. La situation réelle, où la croissance atteint un palier après 1971, est en fait caractéristique d'un programme où alternent des périodes de construction et d'exploitation de gros équipements. Les budgets pour le CERN-Meyrin présentent une évolution analogue, avec des périodes comme 1957-1962 et 1969-1972, à la fin des phases de construction, où la croissance est bien moindre qu'au cours des périodes 1954-1957 ou 1962-1969, pendant lesquelles les coûts initiaux des grands projets nouveaux s'ajoutent à la croissance normale de l'exploitation.

La comparaison du taux annuel de croissance de 4% pour les effectifs de physiciens expérimentateurs et de 7-9% pour le coût du programme, à l'exclusion de la construction des grands accélérateurs à laquelle cette catégorie de physiciens ne participe pas, montre que le coût par physicien augmente régulièrement d'environ 4% par an. Ce chiffre, parfaitement conforme à la tendance précédemment constatée dans de nombreuses sciences, correspond à la complexité croissante des travaux et à l'accroissement du soutien technique nécessaire, à mesure que le sujet devient plus compliqué et plus difficile.

Ainsi, tout en admettant, d'une part, la difficulté de prévoir les coûts et les effectifs et, d'autre part, les grandes différences qui séparent notamment les divers pays considérés, il semble permis d'affirmer que l'existence du PS de 300 GeV n'aura pas pour résultat d'accroître l'importance relative de la physique des hautes énergies en Europe au cours des quinze prochaines années; il sera même nécessaire d'adjoindre à cet accélérateur plusieurs nouveaux accélérateurs nationaux, si l'on veut que la physique des hautes énergies conserve à l'avenir une situation qui ne diffère pas trop de celle qu'elle occupe actuellement.

ANNEXE 1

NOMS DES MEMBRES DE L'ECFA ET DE SES DIVERS GROUPES, AVEC LE CALENDRIER DES RÉUNIONS

ECFA plénier

E. AMALDI (<i>Président</i>)	Italie	E.H.S. BURHOP	Royaume-Uni
K. HÜBNER	Autriche	C.C. BUTLER	
H. KOZIOL		R.H. DALITZ	
H. KUMMER		J.C. GUNN	
J. GÉHÉNIU	Belgique	L.C.W. HOBBS	
M.F. GRARD		P.G. MURPHY	
L. ROSENFELD		D.H. PERKINS	
J.K. BØGGILD	Danemark	T.G. PICKAVANCE	
J.E. HOOPER		H. ATTERLING	Suède
K. HANSEN		G. KÄLLÉN	
J. CATALA	Espagne	S. NILSSON	
J.A. RUIZ		J.P. BLASER	Suisse
F. VERDAGUER		B. HAHN	
P. FALK-VAIRANT	France	E. HEER	
C. GHESQUIÈRE		R. MERMOD	
J. MEYER		J.S. BELL	CERN
J. PARAIN		G. COCCONI	
L. VAN ROSSUM		G. FIDECARO	
A. ROUSSET		B. FRENCH	
J. TEILLAC		P. GERMAIN	
T. FILIPPAS	Grèce	B.P. GREGORY	
R. RIGOPOULOS		G.H. HAMPTON	
E.J. SACHARIDIS		H.G. HERWARD	
T. YPSILANTIS		M.G.N. HINE	
F. AMMAN	Italie	K. JOHNSEN	
G. BERNARDINI		L. KOWARSKI	
N. CABIBBO		P. LAPOSTOLLE	
G. DIAMBRINI		R. MEUNIER	
R. GATTO		D.R.O. MORRISON	
G. SALVINI		W. PAUL	
A. ZICHICHI		Ch. PEYROU	
E. LILLETHUN	Norvège	P. PREISWERK	
O. SKJEGGESTAD		C.A. RAMM	
D. HARTING	Pays-Bas	S. VAN DER MEER	
R.T. VAN DER WALLE		L. VAN HOVE	
A. CITRON (<i>Secrétaire</i>)	République	C.J. ZILVERSCHOON	
H. FILTHUTH	fédérale		
K. GOTTSTEIN	d'Allemagne	<i>Observateurs:</i>	
W. JENTSCHKE		M.H. BLEWETT	Etats-Unis
U. MEYER-BERKHOUT		Y. NE'EMAN	Israël
C. SCHMELZER		E. RONAT	
A. SCHOCH		G. YEKUTIELI	
H. SCHOPPER		G. YAMAGUCHI	Japon
H.O. WÜSTER			

Calendrier des réunions

7 mars 1966	20 février 1967
23 mai 1966	20 mars 1967
10 octobre 1966	

ECFA restreint

E. AMALDI (<i>Président</i>)	Italie	A. CITRON (<i>Secrétaire</i>)	République fédérale d'Allemagne
H. KOZIOL	Autriche		
J. GÉHÉNIU	Belgique		
J.K. BØGGILD	Danemark	C.C. BUTLER	Royaume-Uni
J. RUIZ	Espagne	J.C. GUNN	
P. FALK-VAIRANT	France	D.H. PERKINS	
J. TEILLAC		G. KÄLLÉN	Suède
E.J. SACHARIDIS	Grèce	E. HEER	Suisse
T. YPSILANTIS		R. MERMOD	
F. AMMAN	Italie	B.P. GREGORY	CERN
G. SALVINI		M.G.N. HINE	
E. LILLETHUN	Norvège	K. JOHNSEN	
D. HARTING	Pays-Bas	L. VAN HOVE	
		C.J. ZILVERSCHOON	

Calendrier des réunions

11 février 1966 9 mai 1966 10 octobre 1966

Groupe de Travail 1

C.C. BUTLER (<i>Président</i>)	Royaume-Uni	O. SKJEGGESTAD	Norvège
K. HÜBNER	Autriche	D. HARTING (<i>Secrétaire</i>)	Pays-Bas
M.F. GRARD	Belgique	H. SCHOPPER	République fédérale d'Allemagne
J.E. HOOPER	Danemark		
J. CATALA	Espagne	S. NILSSON	Suède
P. FALK-VAIRANT	France	J.P. BLASER	Suisse
A. ROUSSET		R. MERMOD	
R. RIGOPOULOS	Grèce	L. VAN HOVE	CERN
R. GATTO	Italie		

Calendrier des réunions

4 avril 1966 5 juillet 1966 2 décembre 1966
24 mai 1966 4 octobre 1966 27 janvier 1967

Groupe de Travail 2

F. AMMAN (<i>Président</i>)	Italie	E. LILLETHUN	Norvège
H. KOZIOL	Autriche	R.T. VAN DER WALLE	Pays-Bas
K. HANSEN	Danemark	A. SCHOCH	République fédérale d'Allemagne
F. VERDAGUER	Espagne	H.O. WÜSTER	
J. MEYER	France	L.C.W. HOBBS	Royaume-Uni
J. PARAIN		D.H. PERKINS (<i>Secrétaire</i>)	
L. VAN ROSSUM		M.H. BLEWETT	CERN
T.A. FILIPPAS	Grèce	G. COCCONI	
T. YPSILANTIS		M.G.N. HINE	
A. ZICHICHI	Italie	P. LAPOSTOLLE	

Invités:

G. BRONCA	France	D.A. GRAY	
C. GHESQUIÈRE		J.C. LOUTH	
J.P. POUILLANGE		R.H. THOMAS	
B. DE SÉRÉVILLE		G. EKSPONG	Suède
P. TARDY-JOUBERT		F. BONAUDI	CERN
M. PUGLISI	Italie	J. GERVAISE	
W. JÜNGST	République fédérale d'Allemagne	W. HARDT	
		K. JOHNSEN	
		B. DE RAAD	
		L. RESEGOTTI	
R. BILLINGE	Royaume-Uni	B. SAGNELL	
D. BRABEN		W. SCHNELL	
M.C. CROWLEY-MILLING		C.J. ZILVERSCHOON	

Calendrier des réunions

21 mars 1966	20/21 juin 1966	7 octobre 1966
2/3 mai 1966	12 juillet 1966	14/15 novembre 1966
24 mai 1966	18/19 août 1966	19 décembre 1966
		6 février 1967

Sous-groupes d'étude des utilisations*Coordinateur général:*

M.H. BLEWETT	CERN, en congé accordé par le Laboratoire National d'Argonne, Etats-Unis
--------------	---

Sous-groupe 1 — Faisceaux et leurs éléments

<i>Coordinateur:</i>	K. GOTTSTEIN	République fédérale d'Allemagne
<i>Membres:</i>	B. AUBERT	France
	G. BRONCA	
	H. DESPORTES	
	J. GOLDBERG	
	J.P. POUILLANGE	
	R. VANDERHAGEN	
	H. FAISSNER	République fédérale
	H. FILTHUTH	d'Allemagne
	W. JÜNGST	
	H. SCHOPPER	
	K. TITTEL	
	G. WEBER	
	N.M. KING	Royaume- Uni
	W.W. NEALE	
	D.H. PERKINS	
	E.J.N. WILSON	
	P. BERNARD	CERN
	A. CORDAILLAT	
	P. LAZEYRAS	
	H. LENGELER	

Calendrier des réunions

11 juillet 1966	3 octobre 1966
-----------------	----------------

Sous-groupe 2 — Expériences typiques

<i>Coordinateur:</i>	J.J. THRESHER	Royaume-Uni
<i>Membres:</i>	A.T. FILIPPAS	Grèce
	T. YPSILANTIS	
	S. FOCARDI	Italie
	M. GIORGI	
	S. RATTI	
	F. SAULI	
	P. SCHIAVON	
	G. VEGNI	
	E. LILLETHUN	Norvège
	A.B. CLEGG	Royaume- Uni
	F.F. HEYMANN	
	P.I.P. KALMUS	
	G. MANNING	
	P.V. MARCH	
	P.G. MURPHY	
	H.J. SHERMAN	
	F. BRADAMANTE	CERN
	G. COCCONI	

Calendrier des réunions

11 juillet 1966	6 octobre 1966	11 octobre 1966
-----------------	----------------	-----------------

Sous-groupe 3 — Chambres à bulles et chambres à étincelles

<i>Coordinateur:</i>	E. FIORINI	Italie		
<i>Membres:</i>	J. BADIER	France	N.H. LIPMAN	
	M. DEMOULIN		D.B. THOMAS	
	P. MUSSET		T.G. WALKER	
	H. LEUTZ	République fédérale d'Allemagne	F. MÜLLER	CERN
			Ch. PEYROU	
	C.M. FISHER	Royaume-Uni	G. RAU	
			J. SCHMID	

Calendrier des réunions

29 juillet 1966 27 septembre 1966 2 novembre 1966

Sous-groupe 4 — Détecteurs de haute énergie

<i>Coordinateur:</i>	B. THÉVENET	France		
<i>Membres:</i>	J. OOSTENS	France	O. DANIELSSON	Suède
	O. GILDEMEISTER	République fédérale d'Allemagne	B. ENGLUND	
			R. MEUNIER	CERN
	K.F. RILEY	Royaume-Uni		

Calendrier des réunions

11 juillet 1966 6/7 octobre 1966 13-19 janvier 1967

Sous-groupe 5 — Questions générales

<i>Coordinateur:</i>	M.G.N. HINE	CERN		
<i>Membres:</i>	J.P. GUILLAUD	France	L.C.W. HOBBS	Royaume- Uni
	A. LAISNÉ		M.A.R. KEMP	
	J. PARAIN		R.H. THOMAS	
	B. DE SÉRÉVILLE		M.H. BLEWETT	CERN
	P. TARDY-JOUBERT		G. FIDECARO	
	J. TEIGER		R.D. FORTUNE	
	P.E. KUHLMANN	République fédérale d'Allemagne	R. HAGEDORN	
	H.O. WÜSTER		B.W. MONTAGUE	
			J. RANFT	

Calendrier des réunions

16 août 1966

RÉSOLUTION DE L'ECFA A L'INTENTION DU CONSEIL — JUIN 1966

Le Comité européen sur les futurs Accélérateurs (ECFA) a été convoqué à nouveau pour examiner l'évolution de la situation dans le domaine de la physique des hautes énergies en Europe depuis la publication en 1963 du «Rapport Amaldi» (FA/WP/23/Rev. 3) représentant les conclusions du premier ECFA. Le Comité s'est réuni en séance plénière le 7 mars et le 23 mai 1966. Dans l'intervalle de ces réunions, deux groupes de travail se sont réunis pour étudier, l'un les relations entre les laboratoires nationaux et internationaux, l'autre le projet d'accélérateur de 300 GeV (CERN/563) et ses possibilités d'exploitation. Les deux groupes ont soumis des rapports intérimaires au Comité et, bien que les travaux de l'ECFA et des groupes de travail continuent, on peut déjà en dégager les conclusions suivantes:

1. Les conclusions du «Rapport Amaldi» restent essentiellement valables aussi bien pour le programme «au sommet» que pour le programme «à la base de la pyramide».
2. Le Comité se félicite de noter que certaines installations de haute énergie recommandées ou suggérées dans le «Rapport Amaldi» ont été autorisées depuis lors, à savoir les anneaux de stockage à intersections pour le CERN-Meyrin, l'usine à mésons de Zurich, le synchrotron à électrons de 2,5 GeV à Bonn et les anneaux de stockage pour électrons à Frascati.
3. Le Comité considère qu'il est de la plus haute importance de maintenir l'Europe à l'avant-garde de la physique des hautes énergies. C'est pourquoi il encourage vivement tous les Etats Membres à poursuivre la réalisation du programme recommandé dans le «Rapport Amaldi» en ce qui concerne les installations de haute énergie, compte tenu des progrès réalisés dans ce domaine, comme il est indiqué de manière plus détaillée aux paragraphes 4 et 5 ci-dessous.
4. La réalisation de l'accélérateur de 300 GeV reste l'objectif principal du programme international de haute énergie en Europe. Bien que certains aspects du projet soient encore à l'étude, on peut d'ores et déjà conclure que les principales caractéristiques de l'accélérateur devraient correspondre au projet élaboré par le Groupe d'études du CERN sur la base des recommandations formulées par l'ECFA en 1963. En conséquence, le Comité prie instamment les Etats Membres de donner leur accord à ce projet dans les plus brefs délais.
5. Pour tirer pleinement profit du «programme au sommet» décrit au point 4 ci-dessus, l'Europe aura besoin de l'appui de vigoureuses écoles nationales de physique des hautes énergies, réparties dans l'ensemble des Etats Membres, travaillant en contact très étroit avec les universités et disposant d'instruments de recherche appropriés comme c'est le cas aux Etats-Unis. Tel est l'objet du programme «à la base de la pyramide» recommandé dans le «Rapport Amaldi». A cet effet les mesures suivantes s'imposent:
 - a) D'autres installations, nationales ou régionales, du genre recommandé dans le «Rapport Amaldi» devraient être construites le plus tôt possible. Cette tâche semble devoir incomber aux plus grands Etats Membres ou à des groupes de petits Etats Membres. Tous ces laboratoires devraient être ouverts aux physiciens européens.
 - b) Le programme d'améliorations du CERN-Meyrin permettra d'accroître la qualité et la quantité des expériences réalisées dans ce laboratoire. On note actuellement

une tendance très saine à l'accroissement du nombre de groupes venant de l'extérieur pour participer aux expériences du CERN. Pour réaliser ce programme, il est essentiel que chaque Etat Membre accorde un appui suffisant à ses propres chercheurs afin qu'ils puissent bénéficier pleinement des possibilités offertes par le CERN et les autres grands laboratoires. Une étude préliminaire de cette question porte à croire que cela n'est possible que si les crédits attribués par un pays à la physique des hautes énergies sur le plan national sont au moins équivalents à ceux qu'il consacre au CERN.

Etant donné que le nombre de physiciens des hautes énergies croît au moins aussi rapidement qu'il était prévu dans le « Rapport Amaldi », le problème du personnel qualifié ne se posera pas, même si une assez forte proportion des étudiants qui sont formés dans le domaine de la physique des hautes énergies passent par la suite à d'autres domaines.

ANNEXE 3

OBSERVATIONS RELATIVES AUX EFFECTIFS PROPOSÉS POUR LE LABORATOIRE DE 300 GeV, ASSORTIES DE QUELQUES COMPARAISONS AVEC LE LABORATOIRE RUTHERFORD*

1. Les estimations d'effectifs pour la période de construction, figurant au Chapitre XIV du Rapport établi en 1964 par le CERN sur le projet d'un SP de 300 GeV (CERN/563), comme les prévisions plus larges de l'Annexe C pour la période ultérieure à la construction, se fondent sur l'expérience acquise lors de la construction du PS du CERN et de son utilisation ultérieure, compte tenu du fait que l'envergure et la nature des activités au Laboratoire de 300 GeV prévu seront différentes, à certains égards, de celles du laboratoire de Meyrin.
2. Les précisions fournies sur ces estimations par M. Hine (voir Appendice, p. 49) ont permis une étude plus détaillée des chiffres, y compris une comparaison directe de certains aspects avec la situation qui existe actuellement au Laboratoire Rutherford. Cet examen plus détaillé et quelques autres observations, qui ne sont pas nécessairement nouvelles, sont présentés ici.
3. La comparaison avec la situation existant au Laboratoire Rutherford doit tenir compte de divers facteurs outre la répartition exacte des activités; par exemple, les différences qui séparent les programmes, ainsi que la façon dont les universités collaborent à l'activité du Laboratoire. Si l'on tient compte de ces différences dans toute la mesure du possible, il apparaît qu'on peut établir une comparaison valable entre les dimensions des « services » (par exemple administration ou activités afférentes au domaine du Laboratoire) mais que les différences sont en général trop fortes pour permettre une comparaison utile des groupes « desservis » (par exemple l'équipement relatif aux faisceaux). On n'a pas donné ici d'analyse détaillée, par personne et par groupe, de la situation existant au Laboratoire Rutherford, car elle n'apprendrait rien à quiconque n'a pas la connaissance nécessaire de ses conditions particulières.
4. Il est commode d'adopter la classification du personnel selon les rubriques figurant au tableau de l'Appendice (p. 50). Bien que ces rubriques et les effectifs correspondants ne soient pas tous identiques à ceux du document CERN/563, une comparaison attentive montre que tous les états concordent, à quelques divergences près qui sont faibles et sans importance. Dans l'examen des chiffres absolus, ou de leurs rapports, on s'est attaché particulièrement à l'année 1978, c'est-à-dire deux ans après la fin de la construction (0+2), mais, le cas échéant, on s'est reporté à l'accroissement des effectifs au cours des années précédentes.
5. Les 210 **expérimentateurs travaillant à la recherche** en 1978 sont considérés représenter 210 années-homme de travail expérimental productif, à savoir l'exécution d'expériences et la partie de la préparation et de l'analyse qui doit être réalisée sur place. L'effectif qui devra être présent sur les lieux pendant une partie de l'année sera de 300 à 350 personnes. L'utilisation de l'accélérateur fera l'objet d'une concurrence intense et la politique du Laboratoire devra donc tendre à encourager vivement les expérimentateurs, venant en qualité de visiteurs, à effectuer dans leurs propres laboratoires le maximum possible en matière de préparation et d'analyse. On n'entend nullement par là exclure les heureux effets de la présence de visiteurs à court terme qui ne participent pas directement aux expériences en cours.

Sous la réserve précitée, le chiffre de 210 personnes paraît convenir pour les expérimentateurs en l'an 0+2. Il y a lieu de souligner tout particulièrement l'importance vitale

* Texte rédigé par L.C.W. Hobbs du Laboratoire Rutherford, fondé sur le document CERN/ECFA 67/WG2/LCWH-1 et approuvé par le Groupe de Travail 2 ainsi que par l'ECFA.

de réunir cet effectif au cours des cinq années précédentes, pour que l'exploitation démarre au niveau approprié. Il pourrait néanmoins être extrêmement difficile de s'assurer les services de physiciens de recherche expérimentale avant l'achèvement de la construction; il sera probablement essentiel que, conformément aux dispositions déjà envisagées (CERN/563, p. 432), ils puissent continuer ailleurs certaines recherches au cours de cette période, mais cette facilité seule pourrait ne pas suffire. Le problème exige une attention particulière.

6. Soutien direct aux physiciens de recherche

Le coefficient de 1,4 entre le personnel de soutien direct et les expérimentateurs dépasse celui existant actuellement tant au CERN qu'au Laboratoire Rutherford, mais il apparaît raisonnable compte tenu de la plus grande complexité générale du matériel nécessaire.

7. Mise au point et construction de l'équipement

a) Faisceaux et détecteurs. Les effectifs, constitués au cours de la période de construction, sont rapportés aux crédits d'équipement prévus au budget, selon des coefficients dépenses d'équipement/dépenses de personnel égaux à 6 et à 3 pour les faisceaux et les détecteurs, respectivement. Les coefficients varient beaucoup d'un cas à l'autre, mais ceux qui sont proposés concordent dans l'ensemble avec l'expérience acquise au Royaume-Uni. Il est intéressant de noter que le coefficient correspondant est de 4 pour les **éléments de l'accélérateur** de 300 GeV.

b) Traitement des données. Le chiffre de 80 pour l'année 1978 apparaît trop faible pour cette activité importante et exigeante. Toutefois, il est probable qu'on pourra disposer à ce stade de certains moyens d'analyses des données dans d'autres laboratoires européens et, comme le remarquent les auteurs du rapport CERN/563, il se peut qu'on rase plus qu'aujourd'hui de la physique «à distance». La physique sous une telle forme pourrait même remplacer certaines des activités actuelles réalisées grâce aux machines nationales.

8. Exploitation des ordinateurs

Les effectifs requis pour l'acquisition des ordinateurs sont insignifiants par rapport aux besoins de l'exploitation. Un personnel d'exploitation de 150 en 1978, atteignant 250 en 1981, semble trop nombreux. Il paraîtrait plus raisonnable de le réduire aux 2/3, mais il est difficile de défendre cette affirmation. Il se peut en effet qu'une partie du personnel des ordinateurs s'occupe assez directement du traitement des données; auquel cas le total de cette rubrique et de la rubrique 7b) réunies ne sera pas tellement excessif.

9. Groupe machine

Il serait difficile de parvenir à de meilleures estimations que celles qui ont déjà été données, puisqu'elles se fondent sur l'étude approfondie effectuée par le Groupe d'études chargé d'élaborer le projet de 300 GeV. Il est toutefois intéressant de comparer le nombre des années-homme de travail, pour le PS du CERN et pour le 300 GeV, avec les coûts des accélérateurs:

PS de 28 GeV: coût, bâtiments compris	
(aux prix de 1964) = 150 millions de francs suisses	
PS de 300 GeV: coût, bâtiments compris	
(aux prix de 1964) = 895 millions de francs suisses	
PS de 28 GeV: total des années-homme	
(main-d'œuvre d'installation exclue) = 750	
PS de 300 GeV: total des années-homme	
(main-d'œuvre d'installation exclue) = 2940	
Rapport des coûts	= 9,97
Rapport des années-homme	= 3,93

La quantité totale de matériel pour l'accélérateur de 300 GeV est environ décuple de celui de 28 GeV. Comme il faut s'y attendre, elle ne coûtera pas dix fois plus et les années-homme nécessaires augmenteront encore moins que ce coût.

L'effectif de 500 personnes prévu pour le groupe machine l'année 0+2 repose sur l'hypothèse implicite que les besoins de l'entretien et de l'exploitation n'augmenteront pas proportionnellement au volume du matériel en service. Cette condition est absolument essentielle, non seulement en ce qui concerne l'effectif, mais aussi pour que la machine puisse être exploitée avec un rendement acceptable. C'est d'ailleurs un espoir raisonnable, puisqu'il est possible d'attribuer un rôle essentiellement passif à une bonne partie du matériel additionnel et, d'une façon générale, en recourant à la meilleure technologie disponible, d'améliorer notablement la fiabilité par rapport à aujourd'hui.

10. Personnel des services

Les états d'effectifs sont calculés à partir de ceux du CERN en 1963, au moyen des coefficients personnel des services/effectif total desservi. On trouvera ci-dessous ces coefficients, avec leurs correspondants au Laboratoire Rutherford en 1966. Les deux laboratoires se trouvaient à peu près au même stade de développement ces années-là.

	<i>CERN 1963</i>	<i>L.R. 1966</i>	<i>Différence en pourcentage</i>
<u>Personnel administratif</u> Effectif desservi	0,174	0,150	+ 15
<u>Personnel technique</u> Effectif desservi	0,206	0,176	+ 16
<u>Travaux du domaine</u> Effectif desservi	0,193	0,207	— 7

Dans le contexte actuel, ces coefficients concordent remarquablement. Comme on l'a déjà indiqué au paragraphe 3 ci-dessus, la répartition des effectifs entre le personnel du Laboratoire Rutherford proprement dit, le personnel d'entreprises et le soutien « extérieur », par exemple celui provenant de l'U.K.A.E.A., a été effectuée de façon à correspondre aussi étroitement que possible aux bases servant aux prévisions du CERN; mais il aurait été possible, en adoptant des répartitions différentes, encore que plausibles, de parvenir à des coefficients qui, pour les services techniques et les travaux du domaine, concorderaient mieux encore avec ceux du CERN. Il n'en va pas de même du coefficient pour le personnel administratif, qui est incontestablement moindre au Laboratoire Rutherford; mais la totalité ou la plus grande partie de la différence de 15% peut être attribuée aux effectifs additionnels nécessaires au CERN pour s'acquitter de ses obligations internationales, ainsi qu'à l'existence, au Laboratoire Rutherford, d'une ou deux sections administratives dont on reconnaît généralement que l'effectif est trop faible.

Personnel additionnel des ateliers (110 à l'année 0+2). Ce chiffre, destiné à tenir compte de l'isolement éventuel de l'emplacement et d'une plus grande quantité de matériel radio-actif, est manifestement arbitraire et serait probablement sujet à modification selon les conditions existant effectivement.

L'augmentation du coefficient afférent aux **travaux du domaine**, suivant l'accroissement du rapport zone construite/effectif, apparaît raisonnable.

Bureau d'étude des bâtiments (80). Cet effectif se compare de façon satisfaisante avec les travaux équivalents du Laboratoire Rutherford, lesquels, pour les grandes constructions

nouvelles, sont assurés par l'U.K.A.E.A. On peut concevoir que le laboratoire de 300 GeV soit situé en un lieu où une organisation extérieure analogue pourrait fournir à cet égard un service approprié.

Il importe particulièrement de savoir que l'on peut se fier aux prévisions d'effectifs pour les groupes chargés des services; en effet, ces groupes représentent près de la moitié du total, et pourtant ne se prêtent pas à une évaluation en fonction de résultats scientifiques. Or, la comparaison qu'on vient d'effectuer montre qu'on peut avoir confiance dans les prévisions relatives au personnel des services.

11. Conclusions

Les prévisions d'effectifs apparaissent sûres dans les limites normales de précision de la planification. Toutefois, on n'a pas tenu compte de l'augmentation non-linéaire bien connue que l'on constate dans les effectifs plus un projet présente d'envergure. On peut donc certes s'attendre que l'automation, par exemple au service des archives, compense dans une certaine mesure ce phénomène, mais tous les efforts doivent être faits pour maintenir l'effectif occupé directement au minimum absolu nécessité par le programme.

On a supposé qu'un système de contrats d'emploi, analogue à la pratique actuelle du CERN, servirait à assurer que les effectifs occupés correspondent toujours d'aussi près que possible aux besoins du programme; il doit y avoir une collaboration étroite avec les laboratoires des Etats Membres, pour concevoir et construire le matériel; selon l'emplacement du laboratoire il pourrait être possible de réduire l'effectif en confiant des travaux à des entrepreneurs extérieurs et en utilisant du personnel d'entreprises pour les travaux afférents au domaine, dans une plus grande mesure qu'actuellement au CERN.

Les prévisions relatives à l'année 1981 (0+5) qui envisagent un accroissement de 40% du total par rapport à l'année 0+2, sont manifestement aléatoires et dépendront notamment du genre d'expérimentation qui se révélera profitable, du degré d'exploitation autorisé et de la contribution en argent et en effectifs faite par les Etats Membres au titre de leurs programmes nationaux. De vastes possibilités s'offrent pour modifier les états d'effectifs, tant absolus que relatifs, de façon qu'ils correspondent au programme adopté.

**BASE DES ESTIMATIONS D'EFFECTIFS POUR LE LABORATOIRE DE 300 GEV,
PRÉSENTÉES DANS LE RAPPORT SUR LE PROJET D'UN SYNCHROTRON A PROTONS,
CERN/563***

1. **Groupe machine**, tel qu'il est donné dans le Rapport cité en référence, en dehors du personnel qui sera ultérieurement occupé à la construction de faisceaux.
2. **Personnel de recherche** (visiteurs compris) évalué en supposant qu'il commence à se constituer sur le site dès 1973, pour atteindre le chiffre supposé en 1978. Les effectifs chargés du soutien direct et de l'exploitation des ordinateurs sont calculés comme dans l'Annexe au Rapport précité.
3. **Personnel occupé à la construction de l'équipement** destiné aux faisceaux, aux détecteurs et au traitement des données, calculé en supposant que, vers la fin de 1976, ils devront étudier et construire ou acheter:

pour 30 millions de francs de faisceaux extérieurs de protons, de cibles, etc.
pour 35 millions de francs de faisceaux secondaires et d'alimentations;
pour 60 millions de francs de détecteurs, de matériel électronique, etc.;
pour 60 millions de francs d'ordinateurs.

Les états d'effectifs pour ces groupes se fondent sur les coefficients suivants:

$$\frac{\text{dépenses de matériel}}{\text{dépenses de personnel}} = \sim 6 \text{ pour les faisceaux, les alimentations, etc.}$$

$$= \sim 3 \text{ pour les détecteurs, etc.}$$

Ces coefficients sont assez élevés selon les normes d'aujourd'hui, mais peuvent correspondre à la réalité en 1976-78, étant donné que de grandes quantités de matériel relativement courant seront nécessaires au cours des premiers stades et qu'il y a lieu de tenir compte de l'accroissement du coût par tête d'ici dix ans.

4. La somme des rubriques 1, 2 et 3 donne le total du **personnel desservi**, année par année. L'effectif du **personnel des services** se fonde sur les états de 1963 au CERN, pour lesquels on a trouvé les coefficients suivants:

Effectif de la direction et de l'administration centrale/personnel desservi = 0,174
Effectif des nettoyeurs, etc./personnel desservi = 0,071
Effectif des services techniques/personnel desservi = 0,206
Effectif affecté aux travaux et à l'entretien du domaine/personnel desservi = 0,122

On suppose que l'administration demeurera en 1978 dans le même rapport au personnel desservi.

Les services techniques comprennent les ateliers centraux, les transports, les magasins, la physique de santé, la bibliothèque, etc.: on suppose que la proportion restera la même en 1978, mais on a ajouté 110 personnes aux ateliers centraux.

Les activités afférentes au domaine et le nettoyage, etc. sont censés dépendre de la surface bâtie: en 1978, le coefficient surface bâtie/effectif devrait être égal à 1,75 fois celui du CERN en 1963.

$$\text{Indice qui en résulte} = (0,071 + 0,122) \times 1,75 = 0,337/\text{personnel desservi.}$$

* Préparé par M.G.N. Hine pour le Groupe de Travail 2 (CERN/ECFA 66/WG2/MGNH-2 du 24 novembre 1966).

Le personnel des services pour le Laboratoire de 300 GeV jusqu'en 1978 a été calculé sur la base de ces proportions, compte tenu, aux moments appropriés, d'un développement supplémentaire de la superficie bâtie et des ateliers.

On a aussi supposé que le groupe chargé d'élaborer les plans des bâtiments serait environ double de celui du CERN en 1963.

On a également proposé, sur les mêmes bases, des chiffres pour 1981, manifestement encore plus hypothétiques que ceux qui se rapportent aux années précédentes.

Estimations du personnel pour le Laboratoire de 300 GeV
(chiffres de fin d'année, y compris auxiliaires et visiteurs)

	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1978	1981
Recherche											
Physiciens:											
Total (Visiteurs)						40(10)	60(20)	130(30)	170(50)	250(100)	430(220)
(Theorie/Experimentation) .						(20/40)	(20/40)	(20/110)	(30/140)	(40/210)	(65/365)
Soutien direct						30	60	150	200	290	510
TOTAL						70	120	280	370	540	940
Equipement											
Faisceaux				10	20	40	80	90	100	120	170
DéTECTEURS					20	50	100	140	180	230	300
Traitement des données					20	30	50	60	70	80	145
TOTAL				10	60	120	230	290	350	430	615
Exploitation des ordinateurs Total				30	40	60	80	100	120	150	210
Groupe machine Total	80	120	200	300	400	500	500	520	520	500	560
Total du personnel desservi . . .	80	120	200	340	500	750	930	1190	1360	1620	2325
Services											
Administration		20	40	60	80	130	160	210	230	280	405
Services techniques				50	60	120	180	240	280	330	475
Ateliers supplémentaires . . .								40	80	110	120
Activités sur le domaine et net-											
toyage y compris marge pour											
l'extension des superficies . .			50	100	150	220	300	400	480	550	695
Bureau d'étude des bâtiments .	10	50	70	70	80	80	80	80	80	80	80
Total des services	10	70	160	280	370	530	720	970	1150	1350	1775
TOTAL SUR LES LIEUX . .	90	190	360	620	870	1280	1650	2160	2510	2970	4100
dont PERSONNEL TOTAL . .	90	190	360	620	870	1270	1630	2130	2460	2870	3880
VISITEURS						10	20	30	50	100	220

ANNEXE 4

ÉTUDES SUR L'UTILISATION DU SYNCHROTRON A PROTONS EUROPÉEN DE 300 GeV EN PROJET

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION	51
2. CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES	53
3. EXAMEN DES ÉTUDES SUR L'UTILISATION DE L'ACCÉLÉRATEUR	55
3.1 Spectres de production des particules secondaires.	55
3.2 Expériences avec compteurs et détecteurs	56
3.3 Chambres à traces	58
3.4 Faisceaux	61
3.5 Blindage.	66
3.6 Conception des postes de cibles	68
3.7 Disposition des zones d'expérimentation.	69
3.8 Programme général	75
4. CONCLUSION	78
RÉFÉRENCES	79
LISTE COMPLÈTE DES RAPPORTS DES SOUS-GROUPES SUR L'UTILISATION (TITRES ET COTES)	80
FIGURES	82

1. INTRODUCTION

Les études sur l'utilisation d'un accélérateur en projet peuvent viser deux objectifs essentiels, bien distincts et qu'il faut envisager quelque peu différemment. Un examen approfondi de l'envergure probable de l'installation est utile pour établir l'intérêt qu'elle présente et fournir ainsi la principale justification du projet; mais il peut aussi constituer un élément essentiel de l'étude technique du projet, et c'est dans cet esprit que le Groupe de Travail 2 a entrepris les études décrites ici.

De telles études doivent se fonder sur un choix d'expériences possibles utilisant des techniques établies ou réalisables, en dépit du fait qu'à la date où le synchrotron de 300 GeV sera mis en service, tous les projets d'expériences et à plus forte raison le détail de leur exécution auront forcément subi des changements.

Les informations toujours plus nombreuses apportées par les accélérateurs existants auront été complétées par de nouveaux résultats importants fournis par l'accélérateur de 70 GeV de Serpukhov, les anneaux de stockage du CERN et d'autres machines qui seront alors en service.

La théorie aura elle aussi fait des progrès qu'on ne peut prédire à l'heure actuelle. Des techniques toutes récentes, comme par exemple les aimants supraconducteurs, les microcircuits intégrés, les combinaisons de détecteurs à semi-conducteur, seront devenues courantes, tout comme ce fut le cas pour les chambres à bulles, les chambres à étincelles, les faisceaux séparés et les ordinateurs en ligne depuis le début des années cinquante. Des techniques entièrement nouvelles auront vu le jour.

Malgré tout cela, une étude sur l'utilisation de l'accélérateur fondée sur les connaissances actuelles permet d'établir les principes fondamentaux de son exploitation et de les appliquer à la planification à long terme. Cette étude doit permettre avant tout:

- i) de déterminer les caractéristiques de la machine en fonction de son usage futur en physique des hautes énergies;
- ii) de faire en sorte que l'aménagement du site et les premiers travaux de construction tiennent dûment compte des exigences en matière de zones d'expérimentation;
- iii) de préciser dans toute la mesure du possible les besoins en matériel spécial à mettre au point, surtout lorsque cette mise au point exige beaucoup de temps;
- iv) d'établir des prévisions de dépenses et d'effectifs qui permettent la mise en œuvre d'un programme expérimental équilibré au cours des premières années d'exploitation.

Le Rapport technique (1) précisait le coût estimé de plusieurs zones d'expérimentation, du système de transport des faisceaux, du blindage et de l'équipement d'expérimentation et de traitement des données, pour un montant total de 316 millions de francs jusqu'à la fin de la période de construction. Des budgets d'exploitation étaient indiqués pour deux étapes, à savoir deux et sept ans après le début de l'exploitation. Ces prévisions, de même que celles relatives aux effectifs correspondants d'expérimentateurs et de personnel d'appoint, étaient fondées sur des considérations très générales et ne s'appuyaient pas sur une étude d'utilisation détaillée. C'est pourquoi le Groupe de Travail 2 chargé d'examiner les aspects techniques du projet a jugé indispensable de procéder à une telle étude avant de formuler des conclusions ou des recommandations finales.

A cette fin, on a constitué cinq sous-groupes d'étude comprenant quelque 60 physiciens de divers pays d'Europe en plus des membres du Groupe de Travail 2 et de plusieurs membres du personnel du CERN. Les sujets d'étude des sous-groupes étaient les suivants:

Faisceaux et éléments de faisceaux	(Sous-groupe 1)
Expériences représentatives	(Sous-groupe 2)
Chambres à bulles	(Sous-groupe 3)
Détecteurs de particules de haute énergie	(Sous-groupe 4)
Aspects généraux.	(Sous-groupe 5)

Outre leurs propres réunions séparées, les membres des sous-groupes ont participé à deux réunions communes avec le Groupe de Travail 2, ainsi qu'à celles tenues au cours d'une « Période d'études hivernale » du 9 au 20 janvier 1967. Les détails sur la composition des sous-groupes et le calendrier des réunions sont donnés dans l'Annexe 1. On trouvera une liste complète des rapports des sous-groupes à la fin de cette Annexe. Tous les rapports d'études sur l'utilisation de la machine sont publiés collectivement dans le document CERN/ECFA 67/16.

La « Période d'études hivernale » a donné lieu à une fructueuse confrontation d'idées qui a permis au Groupe de Travail 2 de poursuivre une planification réaliste des zones expérimentales et de formuler ensuite un programme d'ensemble. Le présent rapport constitue une synthèse du travail accompli plutôt qu'un compte rendu des activités de chaque sous-groupe.

Sur la base des diverses études effectuées, le Groupe de Travail 2 a conclu que:

- i) L'accélérateur de 300 GeV dans sa conception actuelle doit répondre au but poursuivi;
- ii) Les zones d'expérimentation présentement envisagées pourront être implantées sur un site correspondant aux dimensions spécifiées;
- iii) Presque toutes les exigences concernant la disposition des faisceaux pourront être satisfaites au moyen des techniques actuelles;
- iv) Des types de compteurs appropriés existent déjà;
- v) Plusieurs grandes chambres à traces, dont une à hydrogène liquide, seront des instruments essentiels pour les recherches avec le nouvel accélérateur;

- (vi) Les progrès imminents de la technologie des supraconducteurs faciliteront sans aucun doute la construction de très grandes chambres à traces ainsi que de faisceaux séparés par HF pour les expériences avec compteurs;
- vii) La grande masse de blindage, nécessaire contre les radiations, ne crée pas de difficultés insurmontables;
- viii) Sous réserve de quelques ajustements mineurs, les crédits et effectifs prévus dans le Rapport technique CERN de 1964, sont à la mesure d'un programme expérimental dynamique dont l'importance ira croissant au cours des quatre premières années. A la fin de cette période, une vingtaine d'expériences avec compteurs auront pu être mises sur pied simultanément et trois grandes chambres à traces seront en service. Pour la réalisation de ce programme on pourra en outre compter sur le matériel qu'apporteront les groupes de visiteurs venant de laboratoires des Etats Membres et du CERN-Meyrin.

Le programme expérimental initial est fondé sur l'aménagement de deux zones d'expérimentation représentées sur les figures 11-14. La Zone I est principalement destinée aux expériences avec compteurs et à des faisceaux allant jusqu'à 500 m de longueur, la Zone II aux chambres à traces et aux faisceaux dépassant une longueur de 500 m. Le résumé de ce programme qui figure au Tableau V (p. 75) indique le développement envisagé de ces zones, de leurs faisceaux et de leurs détecteurs spéciaux, ainsi que des effectifs d'expérimentateurs. Les coûts correspondants figurent au Tableau VI (p. 76).

Il convient de souligner une fois encore que le programme expérimental proposé est un programme qui peut être imaginé à l'heure actuelle et qu'il devra nécessairement être modifié en fonction des progrès de la science et des techniques expérimentales. Il sera donc absolument indispensable de réexaminer, environ cinq ans avant l'achèvement de l'accélérateur, la partie du budget de construction consacrée à l'utilisation, ainsi que le budget d'exploitation.

Le Groupe de Travail 2 tient à souligner qu'un programme de l'envergure recommandée représente un niveau d'activités et un rythme de croissance qui correspondent parfaitement à l'importance de l'accélérateur proposé et au rôle qu'il est appelé à jouer. Sans être un minimum absolu, ce programme est loin d'être extravagant.

2. CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

Les paramètres de la machine qui intéressent son utilisation ont été examinés au Chapitre III du Rapport et nous n'y reviendrons pas ici. Dans son rapport initial, le Groupe d'Etudes du CERN prévoyait trois zones d'expérimentation pour les trois premières années d'exploitation, à savoir:

- i) Une grande zone de faisceaux éjectés (Zone A), équipée à la fois pour l'éjection rapide et lente et dotée d'un aimant d'aiguillage pouvant diriger le faisceau soit vers une cible dont les faisceaux secondaires alimenteraient une zone de chambres à bulles à une distance pouvant atteindre 3 km, soit vers un hall d'expérimentation situé à 700 m environ de la machine, où on monterait principalement des expériences avec compteurs autour des postes de cibles. (Ce hall d'expérimentation servirait aussi de zone de montage pendant la construction de la machine). L'aimant d'aiguillage permettrait également de diriger le faisceau de protons primaires sur une troisième trajectoire susceptible d'être installée à un stade ultérieur.
- ii) Une zone mixte comprenant une cible interne et un faisceau éjecté (Zone B). Elle comprendrait un tunnel de faisceau éjecté élargi à 7,5 m afin de permettre de monter quelques expériences utilisant des faisceaux secondaires allant jusqu'à 240 GeV/c en provenance de cibles internes. Une plate-forme pour les détecteurs serait aménagée à l'extrémité du tunnel; le développement de cette zone en vue de son utilisation avec un faisceau éjecté serait remis à plus tard.
- iii) Une zone spécialisée de faisceau éjecté (zone neutrino ou Zone C) pour des expériences nécessitant une grande masse de blindage contre les rayons cosmiques et le fond

continu de rayonnement de l'accélérateur. Cette zone serait située dans un hall souterrain à l'extrémité d'un tunnel long de 600 m environ.

Ces propositions reflétaient la tendance déjà répandue à utiliser des cibles externes, qui offrent les grands avantages de la souplesse et de l'accessibilité, et tenaient compte du fait que l'extraction du faisceau de protons minimise les problèmes de radioactivité induite et les dégâts provoqués dans les éléments de la machine par les rayonnements.

Pour les zones d'expérimentation situées à la surface du sol, les bâtiments étaient prévus aussi simples que possible, entourés d'une vaste dalle de béton permettant la mise en place de dispositifs expérimentaux et dotée éventuellement d'abris temporaires pour les faisceaux et l'équipement; les zones devaient être disposées de manière que les bâtiments principaux ou les dalles puissent être agrandis en longueur et en largeur. Les faisceaux externes de protons devaient en principe être installés sous terre, tandis que les postes de cibles pouvaient être prévus à la surface, avec la masse de blindage requise contre les muons, ou bien installés sous terre. Dans ce dernier cas, les faisceaux secondaires devaient être infléchis vers le haut, mais la terre environnante servait de blindage, notamment contre les muons. On pouvait aussi infléchir le faisceau de protons vers le bas, juste en amont d'une cible de surface, toujours afin d'utiliser le sol comme élément de l'absorbeur de muons.

Les budgets prévus pour la construction comprenaient les montants suivants pour les ouvrages de génie civil de ces installations, les systèmes de transport de faisceaux externes, les cibles, les systèmes de transport de faisceaux secondaires, le blindage, les détecteurs et l'équipement pour le traitement des données:

*(millions de francs suisses
aux pris de 1967)*

Bâtiments d'expérimentation et tunnels.	117.0
Faisceaux externes de protons et cibles.	32.0
Blindage	57.0
Systèmes de transport des faisceaux	40.0
Matériel de détection et de traitement des données.	<u>70.0</u>
	316.0

L'équipement et les divers éléments devaient être mis à l'étude assez tôt pour être disponibles dès l'achèvement de la machine. Ce budget ne prévoyait pas de détecteur principal tel qu'une très grande chambre à bulles. On avait supposé que certains instruments de recherche seraient empruntés à d'autres laboratoires, et notamment une chambre à bulles existante qui conviendrait pour les premières années d'exploitation.

L'un des buts principaux des récentes études sur l'utilisation de la machine était de revoir les propositions susmentionnées à la lumière d'un examen plus approfondi des besoins futurs éventuels. Avant d'entreprendre les études, le Groupe de Travail avait déjà abouti à plusieurs conclusions importantes, à savoir:

- i) Il convient d'insister encore davantage sur l'emploi de faisceaux éjectés; il n'y a pas lieu d'établir de plans spéciaux pour l'exploitation d'une zone de cibles internes.
- ii) Il faut s'efforcer par tous les moyens de trouver les fonds nécessaires pour disposer d'un nouveau détecteur constitué par une chambre à traces de très grande taille pour les toutes premières expériences.
- iii) Pour des raisons de sécurité, les détecteurs utilisant de grandes quantités de gaz ou de liquides inflammables ne doivent pas être utilisés sous terre.
- iv) L'implantation des faisceaux de neutrinos et de particules séparées devrait être réalisée de telle manière que chacun d'eux puisse traverser les détecteurs principaux sans qu'on ait à déplacer ces derniers.
- v) Il serait pertinent d'envisager une zone spéciale de basses énergies, alimentée par des protons de 50-100 GeV; son intérêt réside dans un blindage beaucoup plus léger contre les muons, facilitant considérablement les modifications de faisceaux.

Les points (iii) et (iv) — pris ensemble — ont conduit à la suppression de la Zone C (zone neutrino) parmi les dispositifs d'expérimentation envisagés.

Le point (i) a été modifié par la suite afin d'inclure l'élargissement d'un tronçon du tunnel de la machine pour les expériences utilisant des faisceaux de particules neutres en provenance de cibles internes. Dans le même ordre d'idées, il avait été recommandé de prévoir une déviation du faisceau sur l'anneau magnétique principal, déviation qui pourrait être aménagée ultérieurement pour desservir une zone de cibles internes ou pour faire partie d'un système de collision de faisceaux comprenant un anneau de stockage ou un deuxième accélérateur circulaire construit à l'intérieur de l'anneau principal. Cette déviation a été étudiée et semble réalisable, moyennant l'emploi de certains éléments magnétiques supraconducteurs. Cette question n'est pas traitée plus en détail dans ce rapport.

Les études sur l'utilisation de la machine, résumées dans les paragraphes suivants, tiennent compte de toutes les modifications aux projets initiaux énumérées ci-dessus.

3. EXAMEN DES ÉTUDES SUR L'UTILISATION DE L'ACCÉLÉRATEUR

3.1 Spectres de production des particules secondaires

La prévision des spectres de production des particules secondaires à 300 GeV est de la plus haute importance, non seulement pour établir si les expériences envisagées sont réalisables, mais aussi pour évaluer le blindage nécessaire, surtout lorsqu'il est imposé par les flux de muons de haute énergie. Il est évidemment de bonne politique de tenir compte du flux minimum pour les expériences et du flux maximum pour le blindage.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de modèle d'interaction à haute énergie qui permette des prédictions de flux suffisamment sûres: les formules proposées jusqu'ici comportent trois à dix constantes arbitraires, et même davantage. Cependant on dispose de données expérimentales fournies par les accélérateurs existants et, pour des énergies supérieures, par les rayons cosmiques. Certaines régularités qui apparaissent dans ces données indiquent des possibilités d'extrapolation. Ces régularités concernent la constance de la quantité de mouvement transverse moyenne et de l'inélasticité, ainsi que la croissance très lente de la multiplicité moyenne en fonction de l'énergie de bombardement, E_0 , caractéristiques qui sont maintenant bien établies pour une immense gamme d'énergie (10 - 10^6 GeV).

La forme exacte des spectres de production n'est pas connue pour des gammes très étendues d'énergie de bombardement. C'est sur cette forme et sur sa modification éventuelle en fonction de E_0 que les diverses formules sont en désaccord.

Spectres des pions

La figure 1 montre le spectre de la quantité de mouvement des pions émis par des protons d'énergie $E_0 = 300$ GeV, suivant les formules de Cocconi, Koester et Perkins (CKP) (2), de Trilling (3) et de Hagedorn et Ranft (HR) (4). La prédiction CKP (1961) n'a pas fait de distinction entre π^+ et π^- , et à la lumière des données expérimentales obtenues depuis, elle doit sous-estimer les flux π^+ (d'un facteur d'environ 2) et surestimer les flux π^- (d'un facteur à peu près égal). Les estimations HR pour π^+ sont reconnues trop élevées, car elles conduisent à de trop grandes inélasticités. Ces réserves mises à part, on voit aisément que les trois formules prédisent, pour la gamme de 60 à 240 GeV/c, des flux de pions qui concordent à un facteur de quatre près. L'augmentation du nombre de paramètres adaptables n'entraîne pas de très grandes différences de flux. Les flux de pions entre 100 et 240 GeV/c prédits selon la formule de Trilling sont plus élevés que selon la formule CKP, qui ne tient pas compte d'un effet physique réel, la production d'isobares. Il est bien connu que la production quasi-élastique d'isobares du nucléon (par exemple N^* 1400) a une section efficace qui ne semble pas diminuer sensiblement

dans la gamme d'énergie $E_0 = 10 - 30$ GeV. S'il reste toujours constant (comme l'admet Trilling), cet effet peut être prédominant dans le spectre de pions à une énergie incidente suffisamment élevée. Les données fournies par les rayons cosmiques laissent supposer qu'il ne prédomine probablement pas aux énergies voisines de 10^6 GeV, mais la manière précise dont la section efficace diminue serait un problème extrêmement grave s'il s'agissait de réaliser le blindage contre les muons d'un accélérateur de 10^4 GeV par exemple. Heureusement, à 300 GeV, les effets paraissent devoir être mineurs.

Il semble donc indiqué de calculer le blindage suivant la formule Trilling (les flux HR étant nettement trop élevés). Pour le calcul des flux de π^+ à des fins expérimentales, c'est la formule CKP, qui donne les valeurs les plus basses, qui est la plus sûre jusqu'à une énergie de 240 GeV; au-delà il convient d'utiliser HR. Pour les π^- , c'est HR qui donne les flux les plus faibles pour presque toutes les quantités de mouvement.

Flux de kaons et d'antiprotons

Pour les K^+ , la formule CKP qui consiste à prendre un dixième du flux moyen de π^\pm est probablement assez sûre; elle donne un flux plus faible que HR et est, par conséquent, préférable. Cette règle « du facteur de dix » provient essentiellement des mesures de rayons cosmiques. Aucune prédiction sûre des flux de K^- ou de \bar{p} de haute énergie n'est possible sur la base des données existantes, du fait qu'on ne dispose pas, pour se guider, d'informations provenant de l'étude des rayons cosmiques. L'extrapolation à partir de la gamme connue $E_0 = 19-30$ GeV peut conduire à de grossières erreurs. C'est pourquoi il se pourrait bien que les flux K^- et \bar{p} prédits par HR soient des flux minima.

Bien que des informations utiles sur la production des particules secondaires doivent pouvoir être obtenues d'ici quelques années grâce à l'accélérateur de 70 GeV de Serpukhov, on estime qu'il est essentiel qu'une expérience pour mesurer les rendements en particules secondaires jusqu'à 300 GeV/c soit l'une des premières à être entreprises avec le nouvel accélérateur.

3.2 Expériences avec compteurs et détecteurs

On a procédé à des études sur les possibilités de réalisation et les détails d'exécution d'une série d'expériences d'électronique qui seraient recommandées si l'accélérateur de 300 GeV était mis en service aujourd'hui. Ces études devaient avant tout fournir des données de base permettant de prévoir les dispositifs expérimentaux et d'évaluer le coût d'un programme expérimental approprié pour la période initiale d'exploitation. Les diverses expériences envisagées ont été les suivantes:

- i) Expérience sur la section efficace totale (5).
- ii) Expérience sur la diffusion élastique à 300 GeV (6).
- iii) Mesure de la partie réelle de l'amplitude de diffusion élastique vers l'avant de π^\pm -p jusqu'à des quantités de mouvement de 40 GeV/c (7).
- iv) Mesures sur la production de particules stables (8).
- v) Recherche des « quarks » (9).
- vi) Expérience utilisant un faisceau de photons (10).
- vii) Expérience sur la production cohérente (11).

Presque toutes les expériences proposées étaient fondées sur des techniques découlant plus ou moins directement des techniques actuelles et, à l'exception de la recherche des « quarks », aucune n'a semblé exiger d'intensités supérieures à 10^{12} protons par impulsion. Etant donné qu'au début, l'accélérateur ne fonctionnera probablement pas à son intensité maximum, ces expériences conviendraient bien à ce stade initial d'exploitation.

Sections efficaces totales et élastiques

La connaissance des sections efficaces totales et des sections efficaces élastiques différentielles est essentielle à la compréhension des collisions de haute énergie. Ainsi, les résultats devraient permettre de vérifier les prédictions de Pomeranchuk, selon lesquelles, à haute énergie, les sections efficaces totales deviennent indépendantes du spin isobarique, et sont identiques pour les particules et les antiparticules. Le comportement des sections efficaces totales en fonction de l'énergie et celui des sections efficaces différentielles en fonction à la fois de l'énergie et du transfert des 4 quantités de mouvement présentent également un grand intérêt. Récemment, Cabibbo et al. (12) ont émis l'hypothèse que ces sections efficaces pourraient à la limite tendre vers zéro pour les hautes énergies. Selon d'autres prédictions elles pourraient devenir constantes quand l'énergie s'accroît.

Les techniques proposées pour mesurer les sections efficaces sont déjà bien établies pour des quantités de mouvement allant jusqu'à 20 GeV/c environ, et semblent pouvoir être adaptées sans difficulté à des quantités de mouvement voisines de 300 GeV/c. Par exemple, dans l'expérience sur la diffusion élastique, il devrait être possible de mesurer les sections efficaces jusqu'à une limite inférieure d'environ $10^{-38} \text{ cm}^2/(\text{GeV}/c)^2$ pour la diffusion p-p, et d'environ $10^{-33} \text{ cm}^2/(\text{GeV}/c)^2$ pour la diffusion π -p. Les événements élastiques sont identifiés par une analyse minutieuse des quantités de mouvement des particules entrantes et sortantes, la différence de quantité de mouvement étant mesurée à 120 MeV/c près pour les particules de 300 GeV/c. L'expérience nécessitera un montage assez complexe d'aimants de déflexion, d'hodoscopes à compteurs et de chambres à étincelles, et l'ensemble du dispositif expérimental s'étendra sur 800 m environ.

Expérience de production cohérente

Dans cette expérience, on fait appel à la condition de cohérence qui impose l'application de diverses règles de sélection sur le spin isotopique, le spin et la parité de l'état final, en vue de déterminer les nombres quantiques des résonances produites dans les interactions de haute énergie avec des noyaux complexes. Il est proposé d'utiliser un détecteur à semi-conducteur à la fois comme cible et comme moyen d'identifier les interactions cohérentes; pour le reste, les techniques envisagées sont semblables à celles utilisées pour les expériences de diffusion élastique.

Mesures sur la production de particules stables

Les mesures de section efficace de production de particules stables fourniront des indications extrêmement utiles pour la conception de tous les faisceaux de l'accélérateur de 300 GeV, sauf peut-être des plus simples. Les résultats présenteront également un intérêt intrinsèque. L'expérience exige un équipement relativement modeste, et bon nombre de mesures pourraient être effectuées à des intensités inférieures à 10^{10} protons par impulsion. Les mesures porteront sur des angles de production de 0 à $1,25^\circ$ et sur des quantités de mouvement de particules secondaires de 40 à 240 GeV/c.

Recherche des « quarks »

Un aspect important et passionnant du nouvel accélérateur sera sa capacité de produire de nouvelles particules (pour autant qu'elles existent), dont la masse dépasse sensiblement les possibilités des machines existantes, par exemple des « quarks ». A l'heure actuelle, de nombreux physiciens expliquent par l'existence de « quarks » la manière dont les particules à interaction forte se groupent en multiplets unitaires. Les « quarks » devraient avoir une charge fractionnaire et un nombre baryonique fractionnaire.

Dans l'expérience envisagée, la détection de « quarks » de charge $e/3$ et de charge $2e/3$ ayant une masse maximum de 11 GeV/c² et de 9,5 GeV/c² respectivement, serait cinématiquement possible. (Ces limites de masse ne tiennent pas compte du mouvement de Fermi des nucléons de la cible). On estime qu'avec 3×10^{12} protons par seconde incidents

sur une cible de cuivre de 105 g cm^{-2} , on obtiendrait un taux d'événements de 1 par semaine pour une section efficace totale de production de «quarks» de $3 \times 10^{-39} \text{ cm}^2$. Si la production est conforme aux calculs du modèle statistique, cette section efficace doit correspondre à une masse de «quark» d'environ $3 \text{ GeV}/c^2$.

Expérience utilisant un faisceau de photons

L'expérience proposée utilisant un faisceau neutre est destinée à étudier la production de paires de leptons par des photons de haute énergie. Elle met aussi en évidence les possibilités de la machine en tant que source d'électrons et de photons de très haute énergie qui pourraient être utilisés pour vérifier l'électrodynamique quantique à des énergies dépassant largement celles atteintes par les accélérateurs d'électrons existants.

Identification des particules

Aucune des expériences examinées dans cette section ne nécessite de faisceau séparé, puisque les compteurs Čerenkov, notamment du type DISC (13), permettent une identification extrêmement efficace des particules à des énergies aussi élevées. Les limites de séparation que l'on peut atteindre avec un compteur DISC dépendent principalement de sa longueur. Ainsi, un compteur de 10 m pourrait séparer les π des K jusqu'à $230 \text{ GeV}/c$, et un compteur de 40 m irait au-dessus de $300 \text{ GeV}/c$. Cependant, les expériences avec des mésons K^- et des antiprotons peuvent se trouver entravées par le fond continu très intense des pions: cette contamination peut conduire à des taux de comptage trop élevés, même lors du fonctionnement initial de la machine à une faible intensité. Manning (6) a notamment relevé que si les rapports défavorables π^-/K^- et π^-/\bar{p} prédits par Hagedorn et Ranft devaient s'avérer exacts, les mesures de diffusion élastique de K^- et \bar{p} exigeraient un faisceau séparé. Des séparateurs HF à supraconducteurs seraient indispensables; comme indiqué à la section 3.4.2, on peut compter qu'ils seront disponibles au moment où l'accélérateur sera terminé.

Des techniques d'identification des particules, autres que celles des compteurs Čerenkov, ont été examinées en détail au cours des études sur l'utilisation de la machine (13). On a notamment envisagé des détecteurs utilisant des phénomènes tels que l'augmentation relativiste de l'ionisation, l'émission d'électrons secondaires, le rayonnement de freinage et le rayonnement de transition. Aucune n'est jugée aussi satisfaisante que celles utilisant l'effet Čerenkov. Cependant, l'application des effets de l'augmentation relativiste de l'ionisation et de ceux du rayonnement de transition à l'identification des particules est encore si peu avancée que son utilité future n'est pas exclue.

Coût de l'équipement d'expérimentation

Le coût de l'équipement, à l'exception du transport des faisceaux, a été estimé pour les cinq premières années d'expérimentation et s'élève en moyenne à 2,5 millions de francs environ par expérience. Les diverses estimations vont de 1,5 million de francs pour l'expérience des «quarks» à 4,6 millions de francs pour l'expérience sur la diffusion élastique à $300 \text{ GeV}/c$. On prévoit que cette moyenne augmentera lorsque la machine fonctionnera à plein rendement et qu'on entreprendra des expériences plus complexes.

3.3 Chambres à traces

Pour les recherches avec la machine de 300 GeV , l'emploi de détecteurs «visuels» sera certainement tout aussi indispensable que dans le cas des accélérateurs actuels, sinon plus encore, du fait de la multiplicité accrue et de la plus grande complexité des interactions.

Telles qu'elles sont envisagées aujourd'hui, les expériences de chambres à traces au Laboratoire de 300 GeV seront de simples répliques, adaptées à des énergies supérieures, de celles effectuées actuellement. Les expériences sur les interactions fortes seront pro-

bablement davantage orientées vers l'étude de la production d'états de résonance connus, que vers la découverte de nouveaux. C'est pourquoi, on a prévu dans la Zone II (examinée plus loin dans 3.7.2) trois faisceaux séparés par HF couvrant les gammes de 50 GeV/c, de 100 GeV/c et de 150 GeV/c.

Il est également prévu d'implanter, dès le début de l'exploitation, un faisceau intense de neutrinos de bande étroite et d'énergie modérée, auquel viendront s'ajouter plus tard un faisceau de bande large qui s'étendra aux hautes énergies et un faisceau de muons de grande énergie (100 GeV). On pourrait également obtenir par le canal de neutrinos des faisceaux non séparés de protons et de pions négatifs dans toute la gamme jusqu'à 300 GeV/c.

Plusieurs instruments spéciaux, du type chambre à bulles et chambre à étincelles, et de dimensions très grandes par rapport aux normes actuelles, seront nécessaires par la suite. Tant pour l'étude des interactions fortes que pour la physique des neutrinos, une grande chambre à bulles à hydrogène devrait être supérieure à une chambre à liquides lourds: l'avantage qu'offrent les liquides lourds pour la détection de rayons γ serait mieux concrétisé par l'emploi d'une très grande chambre à hydrogène dans laquelle seraient incorporées des plaques de métal.

Expériences utilisant des faisceaux de hadrons

L'analyse des événements de chambre à bulles produits par des faisceaux de hadrons d'énergie élevée (par exemple de 100 GeV/c) sera sans doute beaucoup plus difficile que ce n'est le cas aujourd'hui, et ceci pour plusieurs raisons. On prévoit, dans les interactions provoquées par le faisceau, une proportion beaucoup plus faible d'événements à topologie peu compliquée; ceci peut toutefois être compensé par les volumes d'interaction plus grands envisagés.

La levée de l'ambiguïté dans l'ajustement cinématique de topologies particulières semble constituer un sérieux problème; si, pour une chambre à bulles géante, les erreurs en pourcentage sur la quantité de mouvement sont les mêmes que pour les chambres actuelles — et rien n'indique qu'elles seront sensiblement inférieures — les erreurs de masse manquante seront approximativement proportionnelles à p^n , p étant la quantité de mouvement du faisceau et n étant de l'ordre de 2 ou 3. Il est donc évident que pour étudier les types courants de réaction, la détection des particules neutres, et surtout des rayons γ , s'imposera.

Compte tenu de toutes ces considérations et de la nécessité d'obtenir des mesures exactes des petits angles de production pour des quantités de mouvement élevées du faisceau, une chambre à bulles à hydrogène prévue pour le programme à long terme de l'accélérateur de 300 GeV devrait être très grande, certainement plus grande que la chambre de 3,5 m projetée au CERN, bien qu'un instrument de cette taille puisse parfaitement convenir au début.

A l'heure actuelle, on ne connaît aucune autre technique qui possède les avantages uniques de la chambre à bulles; pas d'erreurs systématiques de détection et une image détaillée de la cinématique de la production. Il convient cependant de souligner que cette technique ne permet pas une identification sûre de certaines particules secondaires chargées (π , K, p) dans la région ultra-relativiste, lacune qui présentera un sérieux désavantage étant donné le relâchement des contraintes cinématiques aux énergies de faisceau plus élevées. Cette lacune est également inhérente aux grandes chambres à étincelles à champ magnétique, pour lesquelles les contraintes cinématiques ne seront pas nettement supérieures à celles de la chambre à bulles. On peut essayer d'améliorer l'identification des particules et des réactions en mettant en place, autour de la chambre, des dispositifs de comptage très complexes (par exemple des compteurs Čerenkov et « temps de vol »). Ceux-ci entraîneront inévitablement de graves erreurs systématiques de sélection, mais

si le recours à ce système est logique et nécessaire, il marquera évidemment l'abandon de la chambre à bulles en tant qu'instrument indépendant.

Il se peut que le rôle futur de la chambre à bulles soit celui d'une petite cible à hydrogène de grande sensibilité, à impulsions rapides, dont le déclenchement du flash serait déterminé par une combinaison élaborée de compteurs de chambres à étincelles. Il semble presque impossible de prédire aujourd'hui jusqu'où la chambre à bulles évoluera dans le sens d'un instrument autonome de dimensions très importantes, avant de redevenir un simple élément d'un système complexe de détection.

Faisceaux de neutrinos

Les remarques ci-dessus s'appliquent surtout aux expériences utilisant des faisceaux de hadrons de haute énergie. Les grandes chambres à bulles et les chambres à étincelles à champ magnétique trouveront un champ d'application tout aussi important dans les expériences sur les interactions faibles utilisant des faisceaux de neutrinos d'énergie élevée.

Pour les expériences du stade initial, on utilisera probablement surtout les faisceaux intenses que l'on pourra obtenir au-dessous de 10 GeV. Pour une chambre à hydrogène de 100 m³, on peut s'attendre à des taux d'événements de l'ordre de 1000 par jour et par type ordinaire d'interaction. Des faisceaux de l'intensité prévue et de tels détecteurs de grande taille permettront d'étudier les transitions baryoniques faibles d'une façon bien plus approfondie qu'il n'est possible de le faire avec les accélérateurs actuels.

Les chambres à hydrogène géantes sont aussi d'une importance vitale pour obtenir un taux suffisant d'événements et assurer l'identification des leptons chargés produits. Il importe de prévoir des cibles de neutrons sous forme de deutérium; en raison du coût élevé du deutérium, son volume devrait être limité à un cylindre immergé dans l'hydrogène et coïncidant avec l'axe du faisceau. On prévoit que la meilleure manière d'exploiter la gamme complète des énergies de neutrinos disponibles serait d'utiliser un système à large bande pour alimenter les expériences de la seconde étape. Des recherches portant sur l'existence possible du boson vectoriel intermédiaire et sur le comportement asymptotique des sections efficaces faibles (par exemple les règles de somme) sont des expériences que l'on peut envisager pour cette seconde étape.

A plus long terme, les intensités plus élevées dont on disposera pourront sans doute être utilisées pour l'étude de réactions secondaires (par exemple la diffusion élastique νp). Les expériences dans ce domaine seront d'une importance vitale pour notre intelligence des interactions faibles, mais elles présenteront d'énormes difficultés en raison de la section efficace faible (10^{-42} cm²/nucléon) de ces réactions et du problème posé par le fond continu des neutrons.

Résumé des besoins en matière de chambres à traces

Il est difficile de prédire, à l'heure actuelle, quelle sera l'évolution des grands détecteurs « visuels » au cours de la prochaine décennie. Cependant, d'après les conceptions qui prévalent aujourd'hui, on peut déduire que ces détecteurs seraient de trois types:

- i) *Chambres à bulles existantes*: Au cours de la première année de fonctionnement de l'accélérateur de 300 GeV, un programme dynamique de recherches à l'aide de chambres à bulles serait extrêmement utile à l'exploitation de la nouvelle installation et inciterait les physiciens d'autres instituts de recherche européens à participer aux expériences de la première heure. On espère pouvoir emprunter des chambres à hydrogène à d'autres laboratoires: ainsi, la chambre à hydrogène à champ intense projetée au Laboratoire Rutherford pourrait être utilisée avec le faisceau séparé de 50 GeV/c. En outre, la grande chambre à propane Gargamelle pourrait servir à l'étude des interactions de neutrinos.

On estime que la chambre Gargamelle, dans sa conception actuelle, répondrait aux besoins de tout programme à long terme d'expériences avec chambre à liquides

lourds à réaliser au nouveau Laboratoire. C'est pourquoi il n'a pas été proposé de construire pour cet usage une nouvelle chambre à liquides lourds.

- ii) *Grande chambre à hydrogène*: L'un des détecteurs importants envisagés actuellement pour la machine de 300 GeV est une très grande chambre à hydrogène. Construite suivant les principes classiques, une chambre d'environ 50 m³ dotée d'un aimant supraconducteur coûterait 100 millions de francs. Cependant, si les progrès techniques permettent d'appliquer de nouveaux principes de construction, comme le propose Thomas (14) à la figure 2, il sera sans doute possible de construire une chambre beaucoup plus grande (300 m³) pour le même prix. Dans ce cas, la dimension linéaire (environ 12 m) serait du même ordre que la longueur géométrique d'interaction (environ 5 m) et la longueur de radiation (environ 10 m) dans l'hydrogène, de sorte que l'identification des particules secondaires chargées ainsi que celle des pions neutres serait possible pour une fraction raisonnable d'événements à topologie simple. Même à de hautes énergies, une fraction considérable d'hypérons et de mésons K neutres se désintégreraient à l'intérieur du volume de la chambre.
- iii) *Grande chambre à étincelles à champ magnétique*: Pour l'étude de certaines réactions simples, une grande chambre à étincelles à champ magnétique équipée d'une cible à hydrogène conviendrait mieux que la chambre à bulles; elle permettrait d'étudier des sections efficaces faibles par l'accumulation de statistiques abondantes et d'incorporer une très bonne détection gamma. Un exemple d'expérience avec statistiques abondantes utilisant cette technique a été fourni par la mesure de l'asymétrie de charge dans la désintégration $\eta \rightarrow 3\pi$ effectuée au PS du CERN.

On a proposé pour le Laboratoire de 300 GeV une combinaison particulière de chambres à étincelles fonctionnant dans un aimant supraconducteur ayant un champ moyen de 50 kG (15). Cette combinaison comprend d'abord des chambres à étincelles à larges intervalles pour effectuer des mesures de quantités de mouvement et d'angles sur les particules chargées, puis des chambres à petits intervalles munies de plaques épaisses pour la détection des rayons γ . Le coût d'un tel système, pour un volume d'environ 100 m³, est estimé à 35 millions de francs.

On envisage que ces deux grands instruments, la chambre à hydrogène et la grande chambre à étincelles à champ magnétique, auront un rôle complémentaire dans les expériences de la Zone II. On estime que ces deux détecteurs seront nécessaires peu après la mise en service de l'accélérateur pour assurer sa bonne exploitation. Tout en ne désirant pas insister exagérément sur les solutions particulières mentionnées, le Groupe de Travail 2 a prévu dans les estimations du programme un montant de 135 millions pour la construction de grands détecteurs de ce genre. Il est peu probable qu'ils soient disponibles dès les toutes premières expériences; cependant, un bon démarrage du programme serait assuré par le transfert, depuis un autre laboratoire, d'instruments existants appropriés, comme par exemple Gargamelle et éventuellement une chambre à hydrogène.

3.4 Faisceaux

3.4.1 Eléments du système de transport des faisceaux

La disposition des faisceaux secondaires de 50 à 250 GeV/c est fortement influencée par la distribution angulaire des particules secondaires provenant de la cible de production. Selon les prédictions relatives aux rendements en particules (1), 80 % des secondaires de quantité de mouvement p , en GeV/c, seraient produits dans les limites d'un cône étroit de demi-angle $\theta \approx 600/p$ milliradians. Cet angle correspond aux angles d'acceptance optimum que l'on peut obtenir avec les systèmes de quadrupôles actuels ayant un rayon d'ouverture de 10 cm.

Le tableau I (p. 62) indique le rayon d'ouverture et la longueur totale des triplets de quadrupôles à culasse de fer qui permettent d'accepter le cône correspondant à une production de 80 % et d'obtenir un faisceau parallèle pour différentes quantités de mouvement (16).

TABLEAU I

Triplets à culasse de fer acceptant le cône de production de 80%

p (GeV/c)	Rayon d'ouverture (cm)	Gradient de champ (kG/cm)	Longueur totale du triplet (m)
50	20,0	0,5	20
150	6,7	1,5	20
250	4,0	2,5	20

On envisage l'arrangement en triplet plutôt qu'en doublet, en raison de ses caractéristiques d'acceptance plus symétriques (17). On pourrait aisément assembler en triplets des quadrupôles de 2 m et de 4 m.

Il se peut que les flux correspondants des particules secondaires dépassent de beaucoup les possibilités de détection de l'équipement actuel: par exemple à 100 GeV/c, le cône de 80% contiendrait environ 10^9 pions par pour cent d'intervalle de quantité de mouvement pour l'interaction de 10^{12} protons. Cependant, il serait sage de tenir compte des progrès futurs de la technique des détecteurs et de prévoir, dès maintenant, l'emploi de faisceaux secondaires pour produire des particules tertiaires.

La longueur des aimants de déflexion doit permettre de réaliser la dispersion en quantité de mouvement de l'espace de phase accepté, déterminé à la fois par l'acceptance angulaire des systèmes focalisants et par les dimensions de la source: nous admettons des sources de 1,0 mm de diamètre. Dans les faisceaux à flux intenses pour compteurs qui acceptent le cône de 80%, la déflexion requise pour un intervalle de quantité de mouvement de $\pm 0,5\%$ est alors indépendante de la quantité de mouvement et équivaut à 12 milliradians (16). En admettant un champ de 20 kG, la longueur de l'aimant devra être $L = 0,02 p$ mètres; par exemple, $3 \text{ m} \times 20 \text{ kG}$ à 150 GeV/c.

Des aimants plus longs sont nécessaires dans les faisceaux séparés pour chambres à bulles, où il faut réduire l'intervalle de quantité de mouvement à environ $\pm 0,1 \text{ GeV/c}$. En admettant également un champ de 20 kG, il faudra une longueur $L = 10^{-3} p^2$ mètres; ainsi, à 150 GeV/c, la déflexion requise serait de $22 \text{ m} \times 20 \text{ kG}$, et correspondrait à un angle de 90 milliradians.

Les résultats encourageants enregistrés récemment dans la construction et l'emploi d'aimants supraconducteurs ont permis d'envisager sérieusement l'application de cette technique aux aimants de transport de faisceaux. Des quadrupôles à gradient de champ quadruplé et des aimants de déflexion à champ doublé par rapport à leurs homologues de construction classique semblent déjà réalisables; d'autre part, des conducteurs à champ critique et densité de courant encore plus élevés sont en voie d'être mis au point. Plusieurs projets d'aimants sans fer ont été étudiés (18).

Dans le cas des aimants de déflexion, une augmentation d'un facteur 2 du champ permettrait de diminuer de moitié les longueurs d'aimant requises. Pour les quadrupôles, le Tableau II indique deux solutions possibles.

TABLEAU II

Comparaison de quadrupôles classiques et à supraconducteurs

	Type	Rayon d'ouverture (cm)	Gradient (kG/cm)	Longueur de l'unité (m)
Exemple 1	Fer	7,0	1,4	8,0
	SC	7,0	7,0	1,0
Exemple 2	Fer	20,0	0,5	4,0
	SC	5,0	8,0	1,0

Dans l'exemple 1, l'ouverture reste constante et le gradient augmenté que l'on peut obtenir dans l'unité à supraconducteurs permet de réduire sa longueur d'un facteur 8 sans sacrifier l'acceptance. Dans l'exemple 2, l'ouverture et la longueur sont toutes deux diminuées d'un facteur 4, et les conditions d'acceptance optimum sont maintenues. Bien que la réduction de l'ouverture des quadrupôles représente une économie, elle implique une augmentation correspondante de la longueur de l'aimant de déflexion nécessaire dans une autre partie du faisceau pour obtenir un intervalle de quantité de mouvement déterminé.

Les analyses préliminaires des coûts (19, 20) indiquent que des aimants équivalents à culasse de fer et à supraconducteurs coûteraient à peu près le même prix; d'autre part, les systèmes de quadrupôles à supraconducteurs devraient coûter moins cher que ceux du type classique. En ce qui concerne les frais d'exploitation, les éléments à supraconducteurs semblent être plus avantageux.

Les dispositions retenues pour l'alimentation en hélium liquide (19) prévoient l'usage d'un réfrigérateur central qui alimenterait plusieurs grands réservoirs: ces derniers seraient transportés par chariot et installés près des groupes d'aimants qu'ils alimenteraient par l'intermédiaire de lignes de transfert relativement courtes. Le coût d'un réfrigérateur de 2 kW, des réservoirs et des lignes permettant de desservir 300 aimants serait d'environ 16 millions de francs, soit 50 000 francs par aimant.

Le blindage du champ de fuite autour des aimants à supraconducteurs nécessiterait d'importantes quantités d'acier: ainsi, un quadrupôle ayant un rayon d'ouverture de 5 cm et fonctionnant à 8 kG/cm exigerait 10 tonnes d'acier par mètre de quadrupôle. Il se peut qu'un blindage complet du champ magnétique de fuite ne soit pas toujours nécessaire, et à de nombreux endroits, ce blindage pourrait être combiné avec le blindage contre les radiations.

3.4.2 Disposition des faisceaux

Les expériences que l'on envisage pour l'instant impliquent l'emploi de trois catégories de faisceaux:

- i) Les faisceaux séparés par HF desservant les chambres à traces et les détecteurs électroniques dans la Zone II (voir section 3.7, p. 69).
- ii) Les faisceaux de neutrinos et de muons qui se trouvent également dans la Zone II.
- iii) Les faisceaux non séparés pour compteurs; ils se trouvent surtout dans la Zone I (voir section 3.7). Ils sont plus courts et moins complexes que les types i) et ii).

Faisceaux séparés par HF

Au-delà de 10 GeV/c, les séparateurs électrostatiques sont inefficaces et doivent céder le pas aux séparateurs HF. Pour des raisons qui tiennent à l'alimentation HF et à la dissipation de puissance, les cavités à température ambiante ne fonctionnent que l'espace de quelques microsecondes par impulsion de la machine, bien qu'il existe des possibilités d'augmenter leur coefficient d'utilisation. Cependant, les longues périodes d'extraction qu'exigent les expériences d'électronique font ressortir l'utilité des cavités supraconductrices, avec lesquelles ce problème ne se pose pas.

De nombreux problèmes restent encore à étudier avant que l'on ne puisse construire des séparateurs à supraconducteurs; néanmoins, en se basant sur l'état actuel de la technologie (21), on peut raisonnablement supposer qu'ils auront été résolus lorsque la machine de 300 GeV sera terminée.

Afin de permettre la séparation de trois types de particule (π , K, p) dans une bande complète de quantité de mouvement, on a proposé des faisceaux comprenant trois cavités de déflexion. Les distances L entre les cavités varient avec la longueur d'ondes λ de la HF et la quantité de mouvement p , suivant la formule

$$L \propto \lambda p^2.$$

Les études sur la longueur d'ondes optimum (22) ont fourni les valeurs de λ et L qui

figurent au Tableau III. Le système à trois cavités permet de séparer les K dans une bande de quantité de mouvement de 0,55: 1,0 et les \bar{p} dans une bande sensiblement plus large.

Jusqu'ici, quatre dispositions de faisceaux ont été envisagées, en admettant des quantités de mouvement maximum des K de 30, 50, 100 et 150 GeV/c (22). Le cas correspondant à 100 GeV/c est donné à la figure 4. Ces faisceaux comprennent toutes les quantités de mouvement à l'exception des plus élevées: un faisceau de 250 GeV/c d'acceptance plus faible pourrait être réalisé sans dépasser la longueur du faisceau de 150 GeV/c en utilisant le séparateur pour faisceaux hachés (23), et en admettant un glissement de phase de 30° entre les cavités. D'autres solutions, faisant appel à des aimants classiques ou supra-conducteurs pour le transport de faisceaux, ont également été prévues.

TABLEAU III
Paramètres des faisceaux séparés par HF

Quantité de mouvement max. des K (GeV/c)	30	50	100	150
λ (cm); bande de fréquence	6 ; C	6 ; C	3 ; X	2 ; K _u
Longueur de la cavité (m)	4	5	4	3,75
Distance totale entre cavités (m)	113	312	610	915
Longueur approximative du faisceau (m)*	320	520	740	1330
Puissance du réfrigérateur (W)**	55	68	110	155
Coût approximatif du faisceau (millions de francs)	8,8	13,2	11,8	12,2

* En admettant des cavités à supraconducteurs, mais des aimants de type classique pour le transport de faisceaux.

** En admettant un coefficient d'utilisation de 20% à 1,8° K.

Les faisceaux sont prévus pour accepter 25 % des secondaires produits à leur quantité de mouvement la plus élevée et ils ont une bande de quantité de mouvement de ± 100 MeV/c. Cette bande convient aux expériences des chambres à bulles, étant donné qu'elle est inférieure à la masse des π^0 au repos. En tout cas, au-delà de 100 GeV/c, elle ne doit pas être plus large si l'on veut maintenir l'aberration chromatique et l'anisochronisme à un niveau acceptable. Au-dessous de 100 GeV/c, la bande peut être un peu élargie en vue d'obtenir des faisceaux enrichis pour les expériences de compteurs.

Pour obtenir une bande de quantité de mouvement de ± 100 MeV/c, de grands angles de déflexion (environ 50 milliradians) sont nécessaires à chaque stade d'analyse initiale, de recombinaison et d'analyse après séparation. Ces angles sont un facteur important de la disposition prévue pour la Zone II (voir section 3.7.2); on pourrait adopter des angles plus petits si les dimensions de la cible et la fente d'analyse des quantités de mouvement pouvaient être ramenées au-dessous des $\pm 0,5$ mm considérés généralement comme limite inférieure sûre à adopter dans les projets.

Les flux estimés de particules par interaction de 10^{12} protons se situent dans les limites suivantes:

$$\begin{aligned}\pi^+, \pi^- &: 10^6-10^9 \\ K^+ &: 10^4-10^7 \\ K^-, \bar{p} &: 10^4-10^6\end{aligned}$$

(Les intensités K^- et \bar{p} indiquées ici supposent des taux de production $K^-/\pi^- = 0,05$ et $\bar{p}/\pi^- = 0,01$; elles se trouveront fortement surestimées si les prédictions de Hagedorn et Ranft sont correctes.) Pour donner un exemple plus précis, les intensités de K^+ à 100 GeV/c et à 20 GeV/c seraient de 10^6 et 10^7 respectivement. On prévoit que les faisceaux seraient habituellement fournis par une extraction lente, des aimants rapides programmés pouvant dévier une courte portion du faisceau extrait dans l'un ou l'autre des détecteurs visuels, selon les besoins.

Faisceaux de neutrinos et de muons

Les expériences sur les neutrinos devraient constituer une partie importante du programme de recherche de l'accélérateur de 300 GeV.

En extrapolant à 300 GeV le système actuel du PS du CERN, on n'obtient pas nécessairement la disposition optimale du faisceau de neutrinos: on espère que l'énergie supérieure de la machine permettra de réaliser des systèmes entièrement nouveaux, qui rendraient superflu l'emploi des énormes masses de blindage imposé par une simple extrapolation (24). A ce jour, deux faisceaux seulement ont été étudiés dans le détail: une version extrapolée du système actuel du PS du CERN (système à large bande, illustré à la figure 5) et un système à bande étroite (NBS) présenté dans les « 200 BeV Experimental Use Studies » (25) de Berkeley.

Dans le système à bande étroite proposé, un faisceau de pions ou de mésons K, comprenant la plus grande partie du cône de production et ayant un intervalle de quantité de mouvement d'environ $\pm 5\%$, situé sensiblement au-dessous de la quantité de mouvement maximum de la machine, est produit à partir d'une cible placée dans le faisceau de protons extrait. Il est maintenu dans un long canal de désintégration par une série de 10 à 20 quadrupôles classiques d'un rayon d'ouverture de 5 cm. Les muons et les particules chargées à interaction forte sont balayés à la sortie du canal par des aimants de déflexion, et les neutrinos qui restent arrivent aux détecteurs après avoir traversé un filtre de fer relativement peu important (2000 tonnes). On peut ainsi obtenir des faisceaux de neutrinos ayant une quantité de mouvement maximum bien définie et une bande de quantité de mouvement contrôlable semblable à celle du faisceau primaire.

Cette quantité de mouvement bien définie dans le système NBS suffirait à lever les ambiguïtés de l'adaptation cinématique des diverses transitions baryoniques impliquant jusqu'à un hadron neutre manquant.

Le faisceau de muons concomitant pourrait contenir environ 10^8 muons dans une bande de quantité de mouvement de $\pm 1\%$, aux énergies de 25 à 100 GeV.

L'autre système, à bande large (WBS), serait une version extrapolée et perfectionnée du faisceau de neutrinos utilisé actuellement au CERN. Dans ce système, il n'y aurait presque pas de sélection des quantités de mouvement à la cible. Les pions et mésons K secondaires (de même que les protons et d'autres particules encore) traverseraient des champs à faible focalisation, alimentés par des courants pulsés intenses circulant dans des conducteurs de forme appropriée (« trompes », « doigts » magnétiques, etc). L'ouverture du canal de désintégration serait beaucoup plus grande que dans le système NBS, et la focalisation partielle des pions et des mésons K serait obtenue dans une gamme étendue de quantité de mouvement.

Le canal de désintégration se terminerait par un filtre de masse très important (environ 70 000 tonnes) permettant d'arrêter, par les pertes dues à l'ionisation, les muons qui ont pratiquement l'énergie totale de protons. Comme son nom l'indique, le WBS (système à bande large) produirait un faisceau de neutrinos ayant une bande très large d'énergie; il fournirait un flux plus intense que le système NBS.

Les flux de neutrinos estimés pour les deux systèmes sont indiqués à la figure 6 pour un détecteur ayant un rayon de 35 cm. Les conclusions au sujet des flux relatifs fournis par les deux systèmes seraient très différentes pour d'autres rayons du détecteur.

Il est proposé d'utiliser au début le système NBS, peu compliqué et moins coûteux (environ 9 millions de francs). Par la suite, on pourrait le remplacer par un système WBS (coûtant environ 50 millions de francs) qui serait installé dans le même tunnel.

Faisceaux non séparés pour compteurs

La plupart des expériences d'électronique décrites dans la section 3.2 ne nécessitent que des faisceaux non séparés relativement courts, produisant des flux intenses de particules.

Bien qu'ils diffèrent considérablement dans leurs détails, ces faisceaux présentent certains traits communs; un exemple type est le faisceau destiné aux mesures de la section efficace totale (26). Il s'agit d'un faisceau classique comportant une première portion servant à l'analyse en quantité de mouvement et une seconde portion où l'espace de phase

du faisceau est adapté à celui qui est acceptable pour le compteur Čerenkov utilisé pour l'identification des particules, ainsi qu'aux autres besoins de l'expérience. Il accepte environ 50% du cône de production à 300 GeV/c. Les paramètres principaux et les coûts sont indiqués ci-dessous:

Quantité de mouvement maximum . . .	300 GeV/c
Acceptance angulaire	10^{-5} stéradian
Intervalle de quantité de mouvement . .	$\pm 3\%$
Longueur totale	180 m
Coût des aimants de déflexion (20 m) .	1,0 million de francs
Coût des quadrupoles (28 m)	0,9 »
Coût des alimentations (4 MW)	1,0 »
Coût des divers	0,5 »
<hr/>	
Coût total	3,4 millions de francs
<hr/>	
Intensité à 200 GeV/c: p	10^9 par 10^{12} protons par impulsion
» 200 GeV/c: π^+	10^8 »
» 200 GeV/c: K^+	10^7 »
» 150 GeV/c: π^-	5×10^7 »
» 80 GeV/c: K^-	10^6 »
» 40 GeV/c: \bar{p}	5×10^5 »

Outre les faisceaux non séparés à flux intense de ce type général, on prévoit également plusieurs faisceaux relativement simples, de faible quantité de mouvement ou de faible acceptance, ces deux caractéristiques pouvant être combinées.

3.5 Blindage

Le blindage représente une partie importante des coûts d'exploitation; il convient donc d'évaluer le plus exactement possible l'épaisseur qu'il doit avoir. Un effort considérable a été consacré au calcul du blindage nécessaire, tant pour les particules à interaction forte que pour les muons. L'épaisseur du blindage perpendiculairement à la direction du faisceau autour des éléments de transport et des cibles est déterminée par la transmission des neutrons: en général, le blindage transversal requis pour les neutrons suffit aussi comme protection contre les muons. En revanche, la longueur de l'absorbeur des faisceaux ou du blindage entre les postes de cibles est déterminée par l'émission de muons produits à de petits angles dans les cibles, sauf pour les faisceaux d'une énergie inférieure à 30 GeV environ, l'absorbeur de neutrons assurant dans ce cas une protection suffisante contre les muons.

Blindage pour les particules à interaction forte

Afin d'éliminer les contradictions entre les données expérimentales sur le blindage provenant de différents laboratoires — surtout en ce qui concerne la longueur d'atténuation — une expérience sur le blindage a récemment été effectuée conjointement au CERN par des groupes de physiciens de Berkeley, du CERN et du Laboratoire Rutherford. De très nombreuses données ont pu être obtenues, dont beaucoup sont encore en cours d'analyse. Cependant, une évaluation préliminaire de ces données semble indiquer que les épaisseurs de blindage proposées dans le projet de l'accélérateur de 300 GeV ne sont pas surdimensionnées ou le sont à peine. Les données indiquent une longueur d'atténuation pour les neutrons du blindage de terre du PS du CERN de 110 g cm^{-2} ; compte tenu d'une dilution géométrique en r^{-1} , cette longueur serait de 119 g cm^{-2} en géométrie cylindrique. Récemment, Ranft (27) a effectué des calculs de Monte-Carlo en géométrie cylindrique sur le développement d'une cascade nucléaire dans l'aluminium et dans le fer. Il a obtenu des longueurs d'atténuation de 114 g cm^{-2} dans l'aluminium et de 137 g cm^{-2}

dans le fer pour des particules de haute énergie (supérieure à 80 MeV). On constate une bonne concordance entre les épaisseurs de blindage estimées d'après les calculs de Ranft et celles obtenues par les méthodes semi-empiriques décrites dans le «200 BeV Design Study Report» de Berkeley (28).

Ces résultats entraînent une légère modification des paramètres nominaux de blindage recommandés antérieurement. Le blindage du transport de faisceaux peut être estimé suivant la formule commode ci-après:

$$t(\text{g cm}^{-2}) = 300 \log_{10} P - 900$$

$$\text{où} \quad P = \frac{piE}{\ell D}$$

et p = portion du faisceau perdue sur une distance de ℓ cm

i = intensité du faisceau (protons/seconde)

E = énergie du faisceau en GeV

D = intensité de dose requise à la surface du blindage en mrem h^{-1}

Par exemple, si 1 % d'un faisceau de 300 GeV d'une intensité de 10^{13} proton/seconde se perd sur une distance de 100 m, et si l'on veut obtenir une intensité de dose de 1 mrem h^{-1} , on aura $P = 3 \times 10^9$ et l'épaisseur du blindage sera $t = 1943 \text{ g cm}^{-2}$. Ce blindage pourrait consister en 2,2 m de fer et 1 m de béton placé à l'extérieur afin de supprimer les neutrons d'environ 100 keV qui sont transmis par le fer.

Les estimations relatives aux dimensions de l'absorbeur de faisceaux ou au blindage nécessaire à proximité des cibles sont données par Ranft (27).

Blindage contre les muons

Kuhlmann et Wüster (30) ont calculé les dimensions d'un absorbeur type. Ils ont étudié le cas le plus simple où un faisceau de protons réagit dans une cible placée en amont d'un absorbeur, mais de nouvelles études sont prévues pour déterminer l'effet sur l'absorbeur des champs magnétiques proches de la cible. La production de pions a été évaluée à l'aide de la formule CKP.

Malgré les simplifications admises dans ces calculs préliminaires, on peut en tirer un certain nombre de conclusions importantes:

- i) Les dimensions totales de l'absorbeur sont fortement réduites si le parcours libre des pions ne dépasse pas 5 m environ. La figure 7 montre la forme d'un absorbeur en fer, prévu pour un parcours libre de 1 à 30 m. Le volume du blindage est plus que doublé lorsque le parcours libre passe de 1 à 5 m et double encore une fois si cette longueur atteint 25 m.
- ii) La figure 8 montre la forme de l'absorbeur suivant les matériaux utilisés et fait ressortir l'important gain de place obtenu avec des matériaux de forte densité. Pour un blindage contre les muons construit au-dessus du niveau du sol, le fer est un matériau économique, mais on peut réduire considérablement le coût et l'encombrement du blindage en le garnissant d'uranium près des cibles (31).

Des calculs qui tiendront compte des effets des champs magnétiques sont en cours, basés sur la formule de Trilling pour la production de pions et sur des hypothèses plus réalistes concernant la dispersion angulaire des muons incidents sur l'absorbeur (30). Une certaine augmentation de la longueur des absorbeurs est à prévoir dans les cas où il n'y a pas de champ magnétique, avec toutefois une diminution correspondante de la largeur du blindage: il est peu probable que le volume total du matériau de blindage varie. La présence d'un aimant de déflexion au poste de cible entraînerait une modification du profil du blindage, deux maxima se produisant hors de l'axe.

3.6 Conception des postes de cibles

La conception des postes de cibles pour le faisceau de protons externe (EPB) est un facteur déterminant de l'utilisation expérimentale de l'accélérateur de 300 GeV.

Le grand problème est de permettre l'utilisation simultanée du faisceau de protons externe pour plusieurs expériences simultanément, tout en assurant le réglage individuel en quantité de mouvement des faisceaux secondaires.

Ces exigences sont en contradiction avec certains aspects fondamentaux de l'emploi des cibles aux énergies élevées. Il faut se rappeler notamment que la production des particules secondaires de haute énergie est limitée à des cônes de faible ouverture dirigés en moyenne vers l'avant, de sorte que presque toutes les expériences doivent être conçues pour un angle de production nul.

Un examen critique des différentes dispositions possibles a conduit à proposer l'adoption de cibles (32) «à quartet achromatique», semblables à un des types préconisés dans les «200 BeV Experimental Use Studies» de Berkeley (25). Comme on peut le voir sur la figure 9, ces cibles permettent de régler indépendamment la quantité de mouvement dans les canaux des faisceaux secondaires à angle nul tout en maintenant une trajectoire fixe du faisceau de protons externe en aval de la cible. Le faisceau de protons externe peut ensuite être envoyé sur les cibles suivantes.

Ainsi, lorsqu'on fait varier le champ M_1 , le canal S_2 peut accepter différentes quantités de mouvement et, si on fait varier M_2 , M_3 et M_4 dans les mêmes proportions, le faisceau de protons externe quitte la cible en restant sur son axe. Un principe achromatique semblable permet de faire varier la quantité de mouvement dans le canal S_1 à l'aide des aimants M_1 , M_5 et M_6 .

Il est impossible d'obtenir une indépendance complète entre S_1 et S_2 . Pour la production à angle nul, les particules de S_1 et de S_2 doivent être de charge opposée et, compte tenu de la géométrie des bobines (figure 9), la quantité de mouvement de S_1 ne peut être rendue inférieure à 0,33 fois celle de S_2 . Néanmoins, la souplesse d'utilisation ainsi obtenue est bien supérieure à celle de n'importe quel autre système proposé à ce jour.

Le faisceau de protons externe peut être capturé et refocalisé sur la cible suivante. Les flux de particules secondaires semblent amplement suffisants pour ce mode d'exploitation et il est recommandé de prévoir trois cibles consécutives pour la Zone d'expérimentation I — voir figures 12 et 13.

L'emploi d'aimants classiques à grande ouverture compromettrait la souplesse du système. La construction des aimants a donc fait l'objet d'une étude approfondie; il en est résulté un projet d'aimant «en sandwich» à entrefer étroit d'un type nouveau (voir figure 10). Il s'agit d'un aimant à ouverture rectangulaire de construction simple et peu coûteuse dans lequel le conducteur peut se réduire à une seule spire, correspondant à un septum. L'entrefer est adapté au profil prévu du faisceau de protons externe. Les principaux paramètres sont donnés dans le Tableau IV.

TABLEAU IV
Principaux paramètres des aimants en sandwich

Longueur	4,0 m
Ouverture horizontale	13,6-20 cm (avant-arrière)
Ouverture verticale	6 mm dans la région du champ (environ 12 mm dans la région dépourvue de champ)
Champ	20 kG
Puissance	500 kW ($50 \text{ V} \times 10^4 \text{ A}$)
Section transversale des bobines	6 mm \times 8,6 mm avec canal de refroidissement diamètre 4,4 mm
Coût de l'aimant et de son alimentation	317 000 francs

Pour le poste de cible représenté à la figure 9, seul l'aimant M_2 doit avoir les caractéristiques indiquées à la figure 10 et au Tableau IV: les autres aimants peuvent avoir des spires plus nombreuses, correspondant à un septum plus épais. En particulier si M_5 est déplacé vers l'aval, il peut être identique à M_3 de sorte que l'acceptance verticale du faisceau S_1 augmentera. De même, on peut augmenter la hauteur des entrefers dépourvus de champ de M_2 , M_3 et M_5 sans modifier l'entrefer à champ. Enfin, il est possible de choisir librement la position latérale des culasses de retour de manière à ménager des trajectoires pour de nouveaux faisceaux secondaires: il s'agirait de faisceaux à petite quantité de mouvement ou à flux faible, correspondant à des angles de production finis et fonctionnant en parasitage avec S_1 et S_2 .

Le blindage près des cibles constitue un grand problème aux énergies élevées. Pour conserver la souplesse durement acquise du réglage de la quantité de mouvement des faisceaux secondaires, on a proposé des collimateurs variables spéciaux, dits «bacon slicers». Le déplacement vertical d'un «bacon slicer» permet de choisir différentes trajectoires pour le faisceau de protons externe entre M_1 et M_2 selon les champs nécessaires à un moment donné. Des dispositifs analogues placés de part et d'autre permettent de choisir de la même manière la trajectoire de S_1 et de S_2 .

Il serait peut-être pratique que le dernier poste de cible soit d'un type différent. En effet, le faisceau de protons externe restant ne doit plus être capturé et peut être envoyé dans l'absorbeur. Les derniers postes de cibles des Zones I et II pourraient donc être du type «à image secondaire dispersée» (1, 33) (voir figures 13 et 14). Le désavantage de ce système est que la quantité de mouvement dans les canaux de faisceaux secondaires ne peut être réglée indépendamment.

Estimation des coûts

Le coût d'un poste de cible à quartet achromatique peut être estimé comme suit:

	<i>millions de francs suisses</i>
Quatre aimants en sandwich, y compris les alimentations, à 0,317 million de francs chacun.	1,268
(Ce sont les aimants M_1 à M_4 de la figure 9; les aimants M_5 à M_7 peuvent être inclus dans les estimations relatives aux faisceaux S_1 et S_2)	
Quatre aimants quadripolaires, y compris les alimentations, destinés à refocaliser le faisceau de protons externe. (Les quadrupoles S_1 de la figure 9 ne sont pas compris.)	0,850
Blindage. Les estimations comprennent le coût des «bacon slicers» et des matériaux lourds (par exemple l'uranium) près de M_1 ainsi que du blindage de fer sur un parcours de 100 m entre les cibles.	3,0
Vide, conduits de faisceaux, etc.	0,23
Services divers	0,052
TOTAL	<u>5,4</u>

3.7 Disposition des zones d'expérimentation

Les conclusions tirées aux paragraphes 3.1 à 3.6 fournissent les données nécessaires à une disposition rationnelle des zones d'expérimentation, avec leurs faisceaux secondaires, blindage, dispositifs d'expérimentation et détecteurs spéciaux. Trois zones sont envisagées: la Zone I, avec des faisceaux courts pour les expériences avec compteurs; la Zone II avec des faisceaux longs, destinés principalement aux chambres à traces; la Zone III, limitée à l'utilisation d'un faisceau primaire de 50 GeV.

3.7.1 Zone I

Les expériences d'électronique envisagées dans cette zone ne demandent que des faisceaux relativement courts, de 500 m au maximum. La disposition élaborée (34) permettrait de monter simultanément jusqu'à 15 expériences de ce type, nombre qui ne sera vraisemblablement atteint que trois ou quatre ans après la mise en route du programme des recherches aux hautes énergies. Le complexe prévu est bien adapté à la réalisation d'un programme progressif, débutant par six expériences simultanées.

Le détail de la disposition générale est donné à la figure 12 et, à une échelle différente, à la figure 13. Il est prévu de placer une série de trois postes de cibles, le long du faisceau de protons externe. Les deux premiers sont du type proposé par King et Wilson (32) modifié pour que chaque cible donne quatre faisceaux. La quantité de mouvement de chacun de ces quatre faisceaux peut être réglée indépendamment dans un large intervalle; deux faisceaux pourront être utilisés pour les expériences à très haute énergie — c'est-à-dire celles qui exigent des quantités de mouvement voisines de 300 GeV/c — tandis que les deux autres conviennent pour les recherches à des quantités de mouvement plus basses, de l'ordre de 20 à 80 GeV/c. Le dernier poste de cible de la série est du type décrit par le Groupe d'Etudes du CERN(1) et par Cocconi(33). En principe, il permet l'émission d'un grand nombre de faisceaux (la figure 13 en montre huit) mais son désavantage est que les quantités de mouvement de tous les faisceaux sont fonction les uns des autres; en modifiant la quantité de mouvement d'un faisceau on influencera celle de tous les autres à l'exception du faisceau neutre.

Sur les seize faisceaux prévus au stade de développement complet, plusieurs serviront aux essais de matériel et parmi ceux destinés aux expériences proprement dites il y en aura sans doute toujours quelques-uns en cours de modification. Il est peu probable que l'on puisse disposer de plus de dix faisceaux à la fois, dont cinq pouvant alimenter une expérience et cinq pouvant en alimenter deux. Le déroulement simultané de quinze expériences avec compteurs semble donc constituer un objectif raisonnable, mais toutes les expériences ne seraient pas nécessairement en mesure de rassembler des données en même temps.

On prévoit qu'au moment où l'accélérateur sera mis en service, au moins la cible 1 et les expériences qu'elle est destinée à alimenter seront complètement montées. Les cibles 2 et 3 ainsi qu'un nombre aussi grand que possible des faisceaux en provenance de ces cibles pourront alors être progressivement installés au cours des deux années suivantes, le programme expérimental utilisant la cible 1 ne devant être interrompu qu'au moment de la modification finale du blindage entre les cibles 1 et 2. Jusqu'alors, il y aura probablement assez de place pour installer deux faisceaux supplémentaires en provenance de la cible 1, ce qui porterait le total des faisceaux à six pour la période initiale d'exploitation.

Les expériences prévues pour cette première étape ont déjà été examinées à la section 3.2. Ce sont:

1. des expériences sur la section efficace totale;
2. des expériences sur la diffusion élastique à des énergies élevées;
3. des expériences sur la diffusion élastique à des énergies moyennes;
4. une expérience pour la recherche des quarks;
5. l'étude des faisceaux;
6. une expérience avec un faisceau neutre.

Le coût moyen de l'équipement d'expérimentation est estimé à 2,5 millions de francs par expérience; des estimations ont également été faites pour les faisceaux secondaires nécessaires. Si l'on y ajoute le coût du bâtiment, du système de transport du faisceau externe de protons, du poste de cible et de son blindage, le coût total de l'installation de la cible 1 et des six premières expériences est estimé à 115 millions de francs. Un montant supplémentaire de 145 millions, échelonné sur quatre ans, serait en outre nécessaire pour la préparation de nouvelles expériences et pour l'achèvement de la Zone I selon le plan

exposé plus haut. La répartition des coûts jusqu'à la fin de la quatrième année d'exploitation est la suivante:

	<i>millions de francs suisses</i>
Zone I.	44
Blindage	50
Transport de faisceau	81
Equipement d'expérimentation	85
<i>Total pour la Zone I.</i>	<i>260</i>

3.7.2 Zone II

Faisceaux et détecteurs

La Zone d'expérimentation II est conçue pour des faisceaux plus longs que 400 m environ. Il s'agit notamment des faisceaux de neutrinos(25) et des faisceaux séparés à quantité de mouvement élevée(23).

Les neutrinos sont issus de la désintégration de pions capturés avec la plus grande efficacité possible dans un long canal de focalisation: à 300 GeV, la longueur optimum du canal est d'environ 1 km. De même, un faisceau type de mésons K de 150 GeV/c séparé par HF mesure de 1 à 1,3 km de long: les longueurs correspondantes pour 100 GeV/c et 50 GeV/c sont de l'ordre de 750 m et 500 m respectivement(23).

Les deux types de faisceaux sont nécessaires pour les grandes chambres de détection; pour la Zone II on a prévu une chambre à bulles à hydrogène, une chambre à bulles à liquides lourds et une grande chambre à étincelles à champ magnétique. En outre, étant donné que les rapports K^-/π^- et \bar{p}/π^- pourraient être relativement faibles (4), il est recommandé de prévoir la possibilité d'exploiter les faisceaux séparés à l'aide des techniques de compteurs courants.

Impératifs concernant la disposition

Le dispositif de faisceaux(35) représenté sur la figure 14 comprend le faisceau de neutrinos et les faisceaux séparés mentionnés au paragraphe 3.4; il est déterminé principalement par les impératifs suivants:

- i) Le faisceau de neutrinos comporte deux modes de fonctionnement: le système à bande large et le système à bande étroite(24). Lorsqu'on utilise le système à bande large, le faisceau de protons externe (EPB) doit être dévié dans la direction du canal de neutrinos.
- ii) Une séparation efficace dans les faisceaux à quantité de mouvement élevée séparés par HF exige une dispersion importante en quantité de mouvement, qui est en général obtenue grâce à des déviations d'environ 100 mrad à l'origine des faisceaux.
- iii) La longueur des faisceaux séparés dépend surtout de leur quantité de mouvement nominale.
- iv) Tous les faisceaux doivent converger vers les grands détecteurs.

La disposition de la figure 14 concilie ces impératifs contradictoires: elle fait ressortir leurs principales exigences et donne une base pour l'estimation des coûts.

Disposition de la Zone II

Les grands détecteurs que l'on voit à l'extrémité de la Zone II, espacés de 100 m environ, sont: une chambre à bulles à liquides lourds de la taille de Gargamelle; une chambre à étincelles à champ magnétique(15) de 6 m de diamètre; une chambre à bulles à hydrogène de 12 m de diamètre, du type Thomas(14).

Les faisceaux prévus sont: trois faisceaux séparés par HF d'une quantité de mouvement maximum de 150 GeV/c, de 100 GeV/c et de 50 GeV/c; un canal de neutrinos pouvant être utilisé soit avec le système à bande large soit avec le système à bande étroite; quelques faisceaux, y compris les faisceaux séparés, pour les expériences avec compteurs.

Le faisceau de protons externe (EPB) peut suivre deux parcours, se séparant à la hauteur de l'aimant B_1 . La déviation totale pour chacun de ces parcours est de 100 mrad. Les quatre postes de cibles, TS_1 - TS_4 , sont du type achromatique et la dernière cible TS_5 pourrait être du type à image secondaire dispersée (voir section 3.6).

Lorsqu'on met B_1 sous tension, TS_1 et TS_2 peuvent commencer à fonctionner, produisant respectivement le faisceau séparé de 150 GeV/c et le faisceau de neutrinos à bande étroite. Avec le système à bande large, on court-circuite TS_2 au moyen des aimants B_3 et B_4 . Le canal de neutrinos aboutit dans un long absorbeur de muons placé devant les détecteurs.

Lorsqu'on coupe B_1 , les cibles TS_1 , TS_3 , TS_4 et TS_5 peuvent être utilisées simultanément et produisent les trois faisceaux séparés ainsi qu'un nombre indéterminé de faisceaux pour compteurs en provenance de la dernière cible.

Répartition des faisceaux entre les détecteurs

Les aimants de déflexion rapide K_1 et K_2 aiguillent les faisceaux séparés sur les divers détecteurs, selon les besoins: pour éviter de nombreux croisements des lignes de faisceaux, les deux faisceaux séparés ayant les quantités de mouvement les plus basses passent par le même déflecteur K_2 .

Pour déterminer la distance nécessaire entre les ensembles de détection il faut connaître: i) l'effet des champs magnétiques non blindés des différents dispositifs sur les faisceaux passant dans leur voisinage et sur les autres champs; ii) les longueurs totales des faisceaux séparés, pour tenir compte des pertes par désintégration et iii) les longueurs totales des trajectoires de vol des neutrinos pour tenir compte des pertes de neutrinos de basse énergie résultant de leur distribution angulaire. L'espacement de 100 m adopté à la figure 14 semble être un compromis raisonnable mais peut néanmoins être modifié à la lumière de nouvelles connaissances.

Aimants de déflexion du faisceau externe de protons

Compte tenu des déviations relativement importantes exigées, les aimants de déflexion (B_1 - B_6) du faisceau de protons externe ont été étudiés avec une attention particulière. Ayant admis que le diamètre de ce faisceau pourrait être limité à environ 1 cm, on a prévu des aimants à culasse de fer ayant une ouverture de $1,5 \times 7,5$ cm² en vue de réduire les dépenses d'investissement et la consommation d'énergie (35). Des unités de 4 m de longueur, fonctionnant à 16 kG avec une dissipation de 9 kW, donnent une déviation de 6,4 mrad à 300 GeV/c. Le coût d'un aimant et de son alimentation serait de 53 300 francs. Chaque déviation de 50 mrad (voir figure 14) peut être obtenue avec huit unités, la consommation totale d'énergie étant de 72 kW et le coût total de 0,42 million de francs.

Tunnels et terrain

Pour des raisons d'économie, il est recommandé de loger toutes les lignes de faisceaux dans des tunnels. Une épaisseur de terre de 8,5 m au-dessus de la voûte constituerait un blindage suffisant (27). Le coût d'un kilomètre de tunnel, y compris les services ordinaires, est actuellement estimé à 5 millions de francs. Les ouvrages en galerie souterraine devraient permettre de réduire les dépenses pour le matériau de blindage, mais certaines régions exigeront des dispositions spéciales. On a admis que dans ces régions, représentées en hachuré sur la figure 14, il doit être possible de travailler à l'installation d'une ligne de faisceau alors qu'un faisceau de 10^{13} protons/seconde fonctionne dans un tunnel voisin, à environ 8,5 m. Un blindage spécial est également nécessaire pour les cibles.

Il est recommandé de faire en sorte que la sortie des faisceaux se trouve sur le flanc d'une colline derrière les grands détecteurs, afin que les zones de compteurs puissent être de simples plates-formes bétonnées à ciel ouvert. Trois zones de ce genre sont représentées sur la figure 14.

Une route d'accès éventuelle vers les détecteurs souterrains est indiquée en trait interrompu; elle s'enfoncerait en pente douce vers une zone de déchargement se trouvant au niveau des chambres. Une autre solution, sacrifiant une partie de la superficie des zones de compteurs, serait de prévoir l'accès sous forme d'un tunnel pénétrant dans la colline (sur la droite de la figure 14).

L'installation proposée des grands détecteurs sous terre ne doit pas aller à l'encontre du principe de sécurité énoncé au paragraphe 2 qui concerne les conditions normales d'emploi d'instruments dangereux dans un milieu totalement souterrain. Toutefois, dans le cas de la chambre à bulles envisagée par Thomas, l'encastrement du corps de la chambre dans la terre est une caractéristique essentielle du projet qui réduit fortement les risques d'explosion. Les bâtiments destinés aux chambres à traces de conception plus classique, dont le plancher sera bien au-dessous de la surface du sol, devraient avoir des toits légers.

Aménagement progressif des zones d'expérimentation

L'aménagement progressif de la Zone II peut être prévu de plusieurs manières, selon le taux de dépenses envisagé, la disponibilité des grands détecteurs et les priorités accordées sur le plan expérimental.

Le plan recommandé au Tableau V (p. 75) comprend trois étapes de développement. Les dépenses qui en résultent semblent raisonnables par rapport aux prévisions existantes et figurent au Tableau VI (p. 76).

Le plan est fondé sur l'hypothèse que tout le réseau de tunnels sera terminé au moment de la mise en service de la machine (année 0), de sorte que les travaux ultérieurs en galerie souterraine n'entravent pas le fonctionnement des faisceaux en service. L'implantation des cibles n'aurait lieu que lorsqu'on aurait besoin des faisceaux secondaires correspondants.

On a également admis que les détecteurs nécessaires à l'exploitation du faisceau de neutrinos seraient prêts dès l'année 0 et que la physique des interactions faibles occuperait une place importante au programme des premières années d'exploitation. Les chambres existantes pourraient être utilisées dès le début et deux nouveaux détecteurs devraient être mis en service au cours des trois années suivantes.

Le choix de la quantité de mouvement du premier faisceau séparé par HF (50 GeV/c) est surtout influencé par une évaluation assez prudente des possibilités futures des techniques de la HF et de la mise en service de faisceaux à quantité de mouvement élevée. Si ces possibilités se précisent, il pourrait être indiqué de remplacer ce faisceau par l'un ou l'autre des faisceaux de plus haute énergie prévus: le coût plus élevé du faisceau serait compensé par une diminution du coût du système de transport du faisceau de protons éjectés (EPB), (voir figure 14). Toutefois, il convient de souligner que le faisceau HF de 150 GeV/c est le seul qui pourrait fonctionner en même temps que le faisceau de neutrinos.

Enfin, il est souhaitable de prévoir l'implantation, après l'Etape III, de faisceaux HF à quantité de mouvement encore plus élevée. En admettant qu'il s'agisse simplement d'extrapolations du faisceau de 150 GeV/c, il faudra avant tout prévoir assez de place entre la machine et TS₁: pour un faisceau de 250 GeV/c, par exemple, la distance entre la cible et l'absorbeur serait d'environ 1,8 km et le faisceau prendrait naissance dans une nouvelle cible placée à environ 400 m en amont de TS₁. Quoi qu'il en soit, la disposition indiquée à la figure 14 permettrait d'implanter des faisceaux à quantité de mouvement plus élevée, mais d'intensité plus basse, sans devoir apporter des changements importants.

Le développement ultérieur pourrait comprendre l'implantation d'autres faisceaux secondaires issus des cibles achromatiques existantes, comme décrit à la section 3.6.

3.7.3 Zone III

Une zone d'expérimentation à basse énergie, la Zone III, a été étudiée, son intérêt étant une réduction du blindage contre les muons qui permettrait de modifier plus rapidement que dans les zones d'expérimentation à 300 GeV la disposition des faisceaux secondaires. Une fraction du faisceau circulant serait extraite à un moment approprié du cycle d'accélération et dirigée vers cette zone. Le reste du faisceau circulant continuerait à être accéléré jusqu'à 300 GeV.

Des études détaillées, résumées dans les paragraphes qui suivent, ont été faites sur une telle zone utilisant des protons de 50 GeV. La figure 15 indique la disposition envisagée.

On doit pouvoir réaliser à 50 GeV aussi bien l'extraction rapide que l'extraction lente (200 ms). Le système envisagé est semblable à celui proposé pour 300 GeV, mais se distingue par l'utilisation d'aimants d'extraction fixes au lieu de mobiles. Les aimants fixes n'ont pas besoin d'être pulsés et sont placés à la limite de l'espace disponible pour ne pas diminuer l'acceptance de l'anneau à l'injection. Les rendements d'extraction calculés varient de 93 à 96%, selon les aimants à septum utilisés.

Le transport du faisceau éjecté de l'anneau au hall d'expérimentation, situé à la surface du sol, soit 22 m plus haut, est réalisé à l'aide d'une structure focalisante périodique (figure 15). Des aimants de partage et de séparation du faisceau placés dans cette partie du système de transport (figure 16) répartissent le faisceau entre deux cibles dans la salle des cibles (figure 15). Les pertes sur le septum sont réduites grâce à des mises en forme successives du faisceau avant et après le partage.

Afin de permettre un blindage mobile moins important, les cibles sont placées dans une salle dotée d'un blindage permanent. Un blindage mobile est placé entre la salle des cibles et le hall d'expérimentation. Cette disposition permet de libérer le hall d'expérimentation pour les éléments de faisceaux secondaires et l'équipement expérimental, sans exclure la possibilité de transporter si nécessaire tout ou partie du faisceau de protons dans le hall d'expérimentation. Le hall mesure 50 m × 100 m. Les niveaux de radiation seraient ainsi de l'ordre de $2,5 \text{ mrem h}^{-1}$ dans le hall d'expérimentation.

Il est possible d'agencer les cibles et les faisceaux de manière à obtenir simultanément au moins trois faisceaux produits à 0° et un certain nombre d'autres faisceaux produits à des angles finis. Un des arrangements prévus permet d'obtenir jusqu'à trois faisceaux à partir d'une même cible et de diriger le faisceau de protons de manière à obtenir un angle de production de 0° pour n'importe lequel d'entre eux. Un autre arrangement permet d'obtenir simultanément à 0° deux faisceaux de signe opposé.

Avec une intensité de faisceau extrait de $2,5 \times 10^{12}$ protons/impulsion (8% du faisceau circulant de 3×10^{13}) on obtiendrait 10^5 mésons K/impulsion avec une quantité de mouvement allant jusqu'à 40 GeV/c et une intensité correspondante d'antiprotons d'environ 10^4 /impulsion. Les rendements en pions pourraient aisément dépasser ceux requis pour les expériences avec compteurs actuelles. On a conçu plusieurs faisceaux non séparés qui trouveront place dans le hall d'expérimentation couvert. Pour les faisceaux séparés plus longs, il faudrait probablement prévoir des extensions sur la dalle bétonnée extérieure.

Les dépenses totales d'immobilisation pour les bâtiments, y compris le tunnel conduisant du synchrotron à la salle des cibles, le blindage mobile, les systèmes de transport des faisceaux primaires et secondaires pour six expériences et l'équipement expérimental, sont estimées à 44 millions de francs. L'extrapolation à 100 GeV de cette zone nécessiterait de nouvelles études de la disposition des faisceaux et du blindage contre les muons.

Une zone ainsi conçue constituerait une installation relativement peu coûteuse pour les expériences n'exigeant qu'une énergie primaire de 50 GeV. Le Groupe de Travail 2 estime toutefois que l'installation d'une telle zone n'est pas souhaitable, du moins au début, car il est préférable de consacrer toutes les ressources à l'exploitation de la machine à pleine énergie. En outre, cette gamme d'énergies sera disponible à Serpukhov, voire ailleurs et des faisceaux à quantité de mouvement aussi basse pourront de toute façon être obtenus dans les Zones I et II, si nécessaire.

3.8 Programme général

Compte tenu de ce qui précède, il est possible d'élaborer un programme expérimental s'échelonnant progressivement sur une période de quatre ans à la fin de laquelle le développement des Zones I et II doit atteindre le stade où elles fonctionnent à plein rendement. Pour faciliter la présentation, les travaux sont répartis en trois étapes: l'Etape I allant jusqu'à l'achèvement de la construction de la machine, ou année 0, l'Etape II correspondant aux années 0 à 2 et l'Etape III aux années 2 à 4. L'étude a porté sur les locaux, le matériel, les coûts et les effectifs, mais pas sur le détail d'expériences particulières.

Un plan d'aménagement progressif des Zones I et II en plusieurs années a déjà été exposé dans la section 3.7. L'ensemble du programme est résumé au Tableau V.

Il prévoit qu'à la fin de l'Etape I, six expériences avec compteurs seront montées dans la Zone I, tandis que dans la Zone II, il y aura un faisceau de neutrinos et un faisceau séparé (50 GeV/c), ainsi qu'au moins une chambre à bulles en service et une sur le point d'être terminée. Une de ces chambres pourrait être Gargamelle et l'autre serait la grande chambre à hydrogène.

A la fin de l'Etape II, six nouvelles expériences avec compteurs viendraient remplacer les six premières expériences dans la Zone I. Dans la Zone II, un deuxième faisceau séparé (100 GeV/c) serait disponible et pourrait aussi à ce moment alimenter quatre expériences avec compteurs; la construction de la grande chambre à étincelles magnétique toucherait à sa fin et la grande chambre à bulles serait entièrement opérationnelle.

TABLEAU V
Exemple de programme expérimental pour les quatre premières années d'exploitation

	Etape I (jusqu'à la fin de l'année 0)	Etape II (années 0-2)	Etape III (années 2-4)
Zone I	Installation de six expériences avec compteurs	Préparation et installation de six nouvelles expériences destinées à remplacer celles de la première phase; préparation de l'équipement nécessaire pour l'Etape III.	Installation de 12 expériences au début de la période. Préparatifs en vue de monter jusqu'à 15 expériences simultanées à la fin de la période.
Zone II	Implantation d'un faisceau de neutrinos à bande étroite et d'un faisceau séparé de 50 GeV/c. Installation sur place de Gargamelle et, éventuellement, d'une chambre à hydrogène existante. Proche achèvement d'une grande chambre à hydrogène. Début de la construction d'une grande chambre à étincelles magnétique. Installation de deux expériences avec compteurs.	Adjonction d'un faisceau de 100 GeV/c et d'un faisceau de neutrinos à bande large. Grande chambre à hydrogène entièrement opérationnelle à la fin de la période. Fin de la construction de la grande chambre à étincelles magnétique. Deux expériences avec compteurs en cours et quatre autres en préparation.	Adjonction d'un faisceau de 150 GeV/c et d'un faisceau de muons. Chambre à étincelles magnétique entièrement opérationnelle vers le milieu de la période. Quatre expériences avec compteurs en cours et deux autres en préparation pour les années suivantes.
	Etape I	Etape II Année 1 Année 2	Etape III Année 3 Année 4
Nombre maximum d'expériences en cours	—	8 8	16 18
Nombre de physiciens sur place à la fin de l'Etape:			
Compteurs (sur une base de 8 par équipe)	64	160	224
Chambres à traces	40	60	85
Total	104	220	309
Prévisions du Rapport CERN de 1964	140	210	314

A la fin de l'Etape III, une quinzaine d'expériences avec compteurs seraient montées dans la Zone I. Dans la Zone II, un troisième faisceau séparé (150 GeV/c) et un faisceau de muons seraient disponible, et deux nouvelles expériences avec compteurs pourraient être ajoutées, portant le total à six expériences.

Le Tableau VI donne une estimation du coût de l'aménagement des Zones I et II avec tout leur équipement expérimental, y compris les installations centrales de traitement des données, mais sans les grands ordinateurs.

Lors de l'élaboration du programme des expériences avec compteurs, il a fallu se fonder sur un certain nombre d'hypothèses raisonnables pour calculer le nombre d'expériences en cours, l'effectif d'expérimentateurs sur place et le coût du matériel correspondant. On a admis que, dans la plupart des cas, la préparation d'une expérience demanderait deux ans, mais que les groupes de visiteurs ne devaient se trouver sur place qu'à partir de la deuxième année; que les opérations de montage et de rassemblement des données de la plupart des expériences demanderaient un an, sauf au cours des années 1 et 2 où

TABLEAU VI

Accélérateur de 300 GeV — Coûts de l'utilisation expérimentale

L'Etape I comprend les dépenses globales jusqu'à la fin de la construction de l'accélérateur (année 0); l'Etape II couvre les dépenses des années 0 à 0+2 et l'Etape III celles des années 0+2 à 0+4.

	Etape I (en millions de francs suisses aux prix de 1967)	Etape II	Etape III
Zone I			
Bâtiment et dalle	43,5		
Amenée du faisceau de protons externe (EPB) à la zone (700 m)	6		
Blindage.	25	25	
Aimants pour transport de faisceaux et cibles	25	20	30
Équipement expérimental	15	30	40
Sous-totaux — Zone I	114,5	75	70
Ces montants sont prévus pour la préparation de six premières expériences et le passage progressif à 15 expériences simultanées dans cette zone (y compris un faisceau séparé par HF).			
Zone II			
Bâtiment pour expériences avec compteurs, dalles	12		
Bâtiments (2) pour chambre à bulles et transfert, par exemple, de Gargamelle et d'une chambre à bulles à hydrogène	15		
Tunnels (~ 8 km).	25	15	
Système de transport et de déflexion du faisceau de protons externe (EPB).	7,5		
Postes de cibles	4	2	2,5
Blindage local	6,5	4	2,5
Faisceau de neutrinos — bande étroite	12		
Faisceau de neutrinos — bande large		50	
Faisceaux séparés par HF	10	10	14
Dispositifs supplémentaires de transport de faisceaux, déflecteurs, etc.	3,5	3	6
Équipement expérimental (expériences avec compteurs)	10	15	15
Sous-totaux — Zone II	105,5	99	40
Ces montants sont prévus pour la préparation de deux premières expériences avec compteurs et le passage progressif à six expériences simultanées. Il est prévu que les faisceaux séparés seront implantés progressivement, soit un faisceau de 50 GeV/c pour commencer, puis un faisceau de 100 GeV/c et un faisceau de 150 GeV/c.			
Installations centrales de traitement des données			
à l'exclusion des ordinateurs principaux	15	15	20
Grande chambre à hydrogène et chambre à étincelles magnétique	100	35	
TOTAL	335	224	130
BUDGET PRÉVU	316	210	180
SOLDE	-19	-14	+50

elles demanderaient deux ans; que l'équipement d'une expérience avec compteurs simple, sans les éléments de manipulation de faisceaux, coûterait 2,5 millions de francs, et celui d'une expérience complexe 4 millions (voir section 3.2). On a également supposé qu'une partie du matériel pouvait être utilisée plus d'une fois.

Le coût indiqué pour les nouvelles chambres à traces de grande taille correspond aux montants approximatifs prévus précédemment à la section 3.3 et représente grosso modo celui de la grande chambre à bulles à hydrogène et de la grande chambre à étincelles à champ magnétique envisagées dans ce programme.

L'effectif de physiciens des chambres à traces indiqué dans le Tableau V est basé sur l'expérience actuelle du CERN, compte tenu de la complexité accrue des nouveaux instruments qui seront probablement utilisés. Les coûts indiqués au Tableau VI ont été calculés de la manière suivante:

- i) Jusqu'à l'année 0, le montant total disponible pour les installations envisagées est comme prévu dans le Rapport CERN/563, à savoir 316 millions de francs (voir section 2); la répartition exacte nécessite une mise à jour partielle.
- ii) Pour chacune des années 1 et 2, le Groupe de Travail 2 s'est basé sur un budget total égal à celui de la dernière année de construction. Ceci implique un accroissement de 6,5% du budget total par rapport à celui prévu dans le document CERN/563. En prévoyant alors pour les zones d'expérimentation et l'équipement les montants jugés appropriés à ce stade préliminaire de l'exploitation, les crédits disponibles pour l'utilisation deviennent 110 et 100 millions de francs respectivement pour ces deux années.*
- iii) Pour les années 3 et 4, les budgets d'exploitation correspondants tombent à 90 millions de francs, malgré l'augmentation prévue du budget total du Laboratoire, pour tenir compte d'une intensification progressive de l'exploitation et du développement.*

Le Groupe de Travail 2 n'a pas étudié le détail de la répartition du montant total du budget au-delà de l'année 0; il estime toutefois que les montants prévus pour l'équipement sont en général compatibles avec les autres besoins du Laboratoire.

On peut constater que, sur cette base, le programme envisagé est parfaitement adapté aux crédits disponibles pour les Etapes I et II et que le montant supplémentaire pour l'Etape III permettrait d'entreprendre la construction de nouvelles grandes installations. En fait, il devrait même y avoir une petite marge de sécurité pour les Etapes I et II, car même à ce stade, la plus grande partie du programme expérimental sera réalisée par des visiteurs et des groupes de visiteurs qui utiliseront sans doute en partie leur propre équipement et qui pourraient participer à la construction de nouvelles installations telles qu'une très grande chambre à hydrogène.

L'effectif d'expérimentateurs travaillant sur place dans le cadre du programme envisagé (Tableau V) diffère peu de celui prévu dans le Rapport CERN de 1964. L'écart apparent pour l'année 0 est compatible avec l'accroissement initial rapide de cet effectif, déjà recommandé dans ce Rapport et approuvé par le Groupe de Travail 2, car en plus des physiciens chargés de la préparation d'expériences déterminées, le Laboratoire devra disposer, au cours des dernières années de construction de l'accélérateur, d'un effectif important de physiciens expérimentés en recherche des hautes énergies qui auront pour tâche de participer à l'étude d'équipements spéciaux d'utilité générale et d'apporter une aide moins spécialisée, mais essentielle, à la création de bases solides pour les premières années d'exploitation.

Nous avons examiné le nombre des physiciens visiteurs et résidents ainsi que les effectifs du personnel du Laboratoire prévus dans le Rapport CERN de 1964, pour l'étude et la construction de tout l'équipement, et nous avons conclu qu'ils cadrent avec le taux prévu pour les dépenses d'équipement, compte tenu également de la collaboration envisagée avec d'autres laboratoires.

* Ces questions budgétaires sont examinées de manière plus détaillée dans le Chapitre V du Rapport principal et dans l'Annexe du document CERN/563 (CERN/702).

Le programme décrit ne comporte pas de paramètres absolument critiques et pourrait donc être modifié pour admettre une certaine souplesse dans la répartition des crédits et des effectifs. Une variante importante, qui pourrait se révéler souhaitable ultérieurement, serait d'envisager la construction d'une très grande chambre à traces à hydrogène en deux étapes: un premier instrument, de grandes dimensions selon les normes actuelles, coûtant 80 à 100 millions de francs et qui permettrait d'éprouver de nouvelles techniques, serait suivi d'un deuxième instrument, beaucoup plus grand, à construire beaucoup plus tard.

Tout nouveau développement au-delà de l'Etape III sera fonction, entre autres, du genre d'expérimentation qui se révélera profitable et des crédits disponibles. Toutefois, on peut aisément concevoir la construction d'une Zone III, un développement plus poussé de la Zone I, et l'adjonction de zones analogues aux Zones I et II équipées de leur propre faisceau éjecté ou alimentées par un faisceau éjecté existant. On pourrait aussi implanter de nouveaux faisceaux séparés allant jusqu'à 300 GeV/c pour alimenter les détecteurs de la Zone II à leur emplacement existant. La déviation (bypass) mentionnée à la section 2 pourrait également constituer le point de départ de nouvelles installations importantes.

4. CONCLUSIONS

L'étude détaillée de l'utilisation de l'accélérateur a porté sur les rendements en particules secondaires, les expériences et les détecteurs, la production et le transport des faisceaux secondaires, le blindage et la disposition des zones d'expérimentation. Un exemple de programme complet correspondant à un taux d'exploitation raisonnable a été élaboré; ses incidences sur les coûts et la main-d'œuvre ont été examinées.

Le Groupe de Travail 2 a conclu que ce programme pourrait être fondé sur l'aménagement de deux zones d'expérimentation, l'une destinée surtout aux expériences avec compteurs, l'autre située à environ 3 km de l'accélérateur destinée à l'expérimentation à l'aide de détecteurs spéciaux et desservie par les très longs faisceaux nécessaires à cet effet.

Plusieurs grandes installations de chambres à traces, dont une à hydrogène liquide, semblent être des instruments essentiels pour les recherches avec le nouvel accélérateur. Certaines applications des supraconducteurs, prévues notamment pour les cavités des séparateurs HF et les dispositifs à champ magnétique élevé, de volume important nécessitent des progrès technologiques, mais ceux-ci paraissent imminents. De grandes masses de blindage seront nécessaires autour des cibles fournissant les faisceaux secondaires, mais on a trouvé des solutions qui permettent de conserver une souplesse d'utilisation suffisante.

Il est prévu que l'expérimentation commencera au stade de développement partiel des deux zones, pour devenir plus intensive au bout de quatre ans lorsqu'une vingtaine d'expériences avec compteurs pourront être montées et trois grandes chambres à traces seront en service.

Le coût des zones d'expérimentation et de l'équipement qui sera nécessaire au début de l'exploitation est de l'ordre de 316 millions de francs, montant prévu à cet effet dans le document CERN/563. Les dépenses correspondantes au cours des quatre premières années d'exploitation, soit environ 355 millions de francs, pourraient être couvertes par des budgets d'exploitation légèrement supérieurs à ceux prévus dans ce document.

Jusqu'à 140 physiciens expérimentateurs, résidents et visiteurs, participeront sur place au programme initial, leur nombre atteignant environ 300 à la fin de la période de quatre ans. Ces effectifs et ceux nécessaires pour l'étude et la construction du matériel expérimental correspondent aux effectifs prévus par le Groupe d'Etudes du CERN dans le document CERN/563.

L'ECFA a accueilli avec joie et reconnaissance la contribution apportée aux études d'utilisation par tous les physiciens qui y ont participé, ainsi que la coopération et les encouragements des laboratoires et universités des Etats Membres. Le but poursuivi n'aurait pu être atteint sans leur concours. Leur intérêt et leur enthousiasme n'ont pas seulement permis de mener à bien une partie essentielle de l'étude, mais ont démontré de manière convaincante que les moyens et la volonté de réussir, qui seront la pierre angulaire de la réussite du nouveau laboratoire, existent déjà en Europe.

RÉFÉRENCES

- (1) Groupe d'études du CERN sur les nouveaux accélérateurs. Rapport sur le projet d'un synchrotron à protons de 300 GeV — CERN/563 (1964).
- (2) G. Cocconi, L. J. Koester and D. H. Perkins — UCRL 10022, p. 167 (1962).
- (3) G. Trilling — UCID 10148 (1966).
- * (4) R. Hagedorn and J. Ranft — CERN/ECFA 66/WG2/US-SG5/RH-JR1.
- (5) F. Bradamante and F. Sauli — SG2/Tr.2.
- (6) G. Manning — SG2/GM-1.
- (7) M. A. R. Kemp — SG5/MARK-3.
- (8) E. J. N. Wilson — SG1/EJNW-2.
- (9) E. Lillethun — SG2/EL-1.
- (10) A. B. Clegg, P. G. Murphy and T. Tumer — SG2/ABC-PGM-TT-1.
- (11) S. Ratti and G. Vegni — SG2/R-V-2.
- (12) M. Cabibbo, L. Horwitz, J. J. J. Kokkedee and Y. Ne'eman — CERN/TH 685 (1966).
- (13) O. Danielsson, B. Englund, O. Gildemeister, R. Meunier, M. Spighel, J. P. Stroot and B. Thévenet — SG4/ALL-1.
- (14) D. B. Thomas — SG3/DBT-1.
- (15) N. H. Lipman and T. G. Walker — SG3/NHL-TGW-1.
- (16) E. J. N. Wilson — SG1/EJNW-1.
- (17) E. J. N. Wilson — SG1/EJNW-3.
- (18) G. Bronca and J. P. Pouillange — SG2/JPP-2.
- (19) H. Desportes — SG1/HD-1.
- (20) M. H. Blewett — SG5/MHB-3.
- (21) W. Jüngst — SG1/WJ-1 and SG1/WJ-1 Add.
- (22) W. Jüngst, P. Lazeyras and H. Lengeler — SG1/WJ-PL-HL-1.
- (23) P. Bernard and H. Lengeler — SG1/PB-HL-2.
- (24) D. H. Perkins — SG1/DHP-1 Rev.
- (25) 200 BeV Accelerator: Studies on experimental use — UCRL-16830.
- (26) G. Petrucci and CERN-Trieste High-Energy Group — SG2/Tr.1.
- (27) J. Ranft — SG5/JR-1.
- (28) 200 BeV Accelerator Design Study — UCRL-16000.
- (29) R. H. Thomas — SG5/RHT-1.
- (30) P. E. Kuhlmann and H. O. Wüster — SG5/PEK-HOW-1.
- (31) P. E. Kuhlmann and H. O. Wüster — SG5/PEK-HOW-2.
- (32) N. M. King and E. J. N. Wilson — SG5/NMK-EJNW-1.
- (33) G. Cocconi. Berkeley Summer Study 1966 (à publier).
- (34) E. Lillethun, G. Manning and J. J. Thresher — SG2/EL-GM-JJT-1.
- (35) N. M. King and E. J. N. Wilson — SG1/NMK-EJNW-2.
- (36) M. A. R. Kemp, A. Laisné, J. Parain, B. de Séréville, P. Tardy-Joubert and J. Teiger — SG5/50 GeV 1.

* Ci-après, les références aux rapports des Sous-groupes d'étude des utilisations du Groupe de Travail 2 (wg2) sont abrégées au minimum indispensable pour l'identification.

LISTE COMPLÈTE DES RAPPORTS DES SOUS-GROUPES SUR L'UTILISATION
(TITRES ET COTES)*

Volume I

I. Documents sur des sujets généraux

- (1) Summary of utilization studies and general exploitation program, CERN/ECFA 67/13 Appendix 4.
- (2) Statistical thermodynamics of strong interactions at high energies — II (momentum spectra of particles produced in high energy pp collisions), R. Hagedorn and J. Ranft, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/RH-JR 1, Sept. 1966.
- (3) Report by working party on Area I, ECFA Winter Study, January, 1967, E. Lillethun, G. Manning and J. J. Thresher, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG2/EL-GM-JJT, February, 1967.
- (4) Beam layout problems in Experimental Area II of the 300 GeV accelerator, N.M. King and E. J. N. Wilson, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG1/NMK-EJNW-2, January, 1967.
- (5) A 50 GeV experimental area for the 300 GeV machine, M.A.R. Kemp, A. Laisné, J. Parain, B. de Sérerville, P. Tardy-Joubert, J. Teiger, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/50 GeV 1, January, 1967.

II. Documents sur les expériences possibles

- (1) Experiment to measure the production of stable particles at 300 GeV/c, E. J. N. Wilson, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/EJNW-2, December, 1966.
- (2) Total cross-section experiment at a 300 GeV/c accelerator, F. Bradamante and F. Sauli, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG2/Tr-2, Jan. 1967.
- (3) Coherent interactions of complex nuclei as selective device in the production of resonances at very high energies, S. Ratti and G. Vegni, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG2/RV-3, February, 1967.
- (4) Possible experiment using a photon beam produced at a 300 GeV accelerator, A.B. Clegg, P.G. Murphy and T. Tumer, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG2/ABC-PGM-TT-1, November, 1966.
- (5) A 300 GeV/c elastic scattering experiment, G. Manning, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG2/GM-1, February, 1967.
- (6) Search for quarks with 300 GeV protons, E. Lillethun, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG2/EL 1, February 1967.
- (7) Measurement of the real part of the forward scattering amplitude for $\pi^\pm p$ at momenta up to 40 GeV/c, M.A.R. Kemp, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/MARK-3, January, 1967.

III. Documents sur les problèmes et moyens de détection

- (1) Some thoughts on the detection of π^0 -mesons, neutrons and neutrinos at the 300 GeV accelerator, H. Leut, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG3/HL-1, October, 1966.
- (2) Preliminary considerations on the features of very high energy interactions in a bubble or spark chamber, E. Fiorini, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG3/EF-1, February, 1967.
- (3) Bubble-chamber design parameters at high energies, C. M. Fisher, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG3/CMF-1 Rev., February, 1967.
- (4) A mammoth hydrogen bubble chamber for use with the 300 GeV machine, D. B. Thomas, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG3/DBT-2, January, 1967.
- (5) Heavy-liquid bubble chambers at the 300 GeV machine, P. Musset, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG3/PM-1, October, 1966.
- (6) Chambres à bulles spécialisées, J. Badier, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG3/JBD-1, February, 1967.
- (7) Large-volume magnet spark chamber for operation up to 300 GeV, N. H. Lipman and T. G. Walker, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG3/NHL-TGW-Rev., February, 1967.
- (8) The possibilities to identify by means of counters, the fast particles from a 300 GeV accelerator, O. Danielsson, B. Englund, O. Gildemeister, R. Meunier, M. Spighel, J. P. Stroot, B. Thévenet, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG4/ALL-1, January, 1967.
- (9) Low-energy detectors for very high-energy interactions, E. Fiorini, M. Pignanelli, and A. J. Herz, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG4/EF-MP-AJH-1, February, 1967.

* CERN/ECFA 67/16, May, 1967.

Volume II

IV. Documents sur les conceptions possibles des faisceaux

- (1) Neutrino beams at the 300 GeV laboratory, D.H. Perkins, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/DHP-1 Rev., January, 1967.
- (2) A possible 300 GeV/c secondary beam, G. Petrucci and CERN-Trieste High-Energy Group, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG2/Tr-1, November, 1966.
- (3) Hyperon beams, D. Garbutt, F.F. Heymann, P.V. March, P.I.P. Kalmus, H.J. Sherman, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/PM-1, October, 1966.
- (4) RF separated beams for the 300 GeV/c accelerator, W. Jüngst, P. Lazeyras and H. Lengeler, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG-1/WJ-PL-HL-1, January, 1967.
- (5) Proposal for a RF separated beam for $K\pi$ -separation around 30 GeV/c, P. Bernard, P. Lazeyras, H. Lengeler, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/PB-PL-HL-1, January, 1967.
- (6) Résumé préliminaire pour un faisceau séparé de K^\pm entre 50 et 100 GeV/c, P. Lazeyras, CERN/ECFA 66/US-SG1/PL-1, January, 1967.
- (7) Preliminary design of a RF separator for 100 GeV/c $K-\pi$ separation. Part 1, P. Bernard and H. Lengeler, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/PB-HL-1, September, 1966.
- (8) Preliminary design of a RF separator for 100 GeV/c $K-\pi$ separation, Part 2, P. Bernard and H. Lengeler, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/PB-HL-2, January, 1967.
- (9) A superconducting RF particle separator for K,π separation at 150 GeV/c, W. Bauer and W. Jüngst, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG1/WB-WJ-1, January, 1967.
- (10) Secondary beams from a 50 GeV E.P.B. target station, M.A.R. Kemp, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG5/MARK-2, January, 1967.

V. Documents sur les composants servant au transport des faisceaux

- (1) Need for long-pulse RF separators in conjunction with 70 and 300 GeV accelerators, H. Lengeler, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/HL-2, July, 1966.
- (2) On the feasibility of superconducting RF particle separators, W. Jüngst, CERN/ECFA 66/WG2/US-SG1/WJ-1, October, 1966.
- (3) On the feasibility of superconducting RF particle separators — Addendum, W. Jüngst, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/WJ-1 Add., October, 1966.
- (4) Rapport sur l'état des travaux concernant des éléments de transport de faisceaux de haute énergie avec supraconducteurs, A. Cordaillat, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/AC-1, January, 1967.
- (5) Aspects généraux de la technologie et de l'exploitation des aimants de faisceaux supraconducteurs, H. Desportes, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG1/HD-1, January, 1967.
- (6) Etude préliminaire d'aimants et quadrupoles à bobines supraconductrices, J.P. Pouillange, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/JPP-1, October, 1966.
- (7) Etudes préliminaires de dipoles et quadrupoles à bobines supraconductrices fonctionnant dans l'air, G. Bronca and J.P. Pouillange, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG1/JPP-2, January, 1967.
- (8) Etude préliminaire de faisceaux supraconducteurs, G. Bronca, A. Cordaillat, H. Desportes, J.P. Pouillange, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG1/GB-AC-HD-BP, February, 1967.
- (9) Apertures and strengths of beam-transport magnets for a 300 GeV accelerator, E.J.N. Wilson, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/EJNW-1, October, 1966.
- (10) Triplet focusing systems for high-flux secondary beams, E.J.N. Wilson, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG1/EJNW-3, January, 1967.

VI. Documents sur les postes de cibles et le blindage

- (1) E.P.B. target stations at 300 GeV, N.M. King and E.J.N. Wilson, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/NMK-EJNW-1, December, 1966.
- (2) Shielding for experimental layouts, 300 GeV PS, R. H. Thomas, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/RHT-1, August, 1966.
- (3) Monte Carlo calculation of the nucleon meson cascade in a block of shielding material. Attenuation of strong interacting particle densities perpendicular to the direction of the primary beam (plus addendum), J. Ranft, CERN/ECFA 67/WG 2/US-SG5/JR-1, January, 1967.
- (4) Muon shielding calculations-I, P.E. Kuhlmann and H.O. Wüster, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/PEK-HOW-1, October, 1966.

- (5) Remarks on shielding for Area I, P.E. Kuhlmann and H.O. Wüster, CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG5/PEK-HOW-2, February, 1967.

VII. Documents sur des sujets spéciaux

- (1) The feasibility of a beam bypass for the 300 GeV synchrotron, B. W. Montague, ISR-300/GS/67-1, January, 1967.
- (2) Ejections entre 50 et 100 GeV/c (étude préliminaire), A. Laisné, ISR-300/GS/66-39, November, 1966.
- (3) Etudes des accès autour d'un synchrotron, B. de Séreville and Ph. Tardy-Joubert, CERN/ECFA 66/US-SG5/STJ 2, October, 1966.
- (4) Eléments pour l'évaluation de la protection autour d'une cible externe à 45 GeV, E. Audebez, B. de Séreville, Ph. Tardy-Joubert, CERN/ECFA 66/US-SG5/ASTJ 1, October, 1966.
- (5) Partage du faisceau pour l'Aire expérimentale à 50 GeV, J. Parain, CERN/ECFA 66/US-SG5/JP 1, October, 1966.

Volume III

300 GeV Kinematics, CERN-Trieste High Energy Group (ed. by P. Schiavon), CERN/ECFA 66/WG 2/US-SG2/TR-3, September, 1966.

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 Spectres d'émission des particules secondaires.
Fig. 2 Dispositif proposé pour l'expérience quark.
Fig. 3 Avant-projet d'une très grande chambre à bulles à hydrogène liquide.
Fig. 4 Faisceau de 100 GeV/c séparé par 3 cavités HF.
Fig. 5 Dispositions proposées pour des faisceaux de neutrinos à bandes étroite ou large.
Fig. 6 Flux de neutrinos pour un accélérateur de 300 GeV.
Fig. 7 Effet de la distance entre la cible et le blindage de muons.
Fig. 8 Forme d'un blindage de muons suivant les matériaux utilisés.
Fig. 9 Poste de cible à quartet achromatique.
Fig. 10 Aimant en sandwich pour poste de cible.
Fig. 11 Plan de l'accélérateur.
Fig. 12 Zone expérimentale I.
Fig. 13 Postes de cibles pour la zone expérimentale I.
Fig. 14 Disposition de la zone expérimentale II.
Fig. 15 Zone III: halls de cibles et d'expériences.
Fig. 16 Zone III: découpage et séparation des faisceaux.

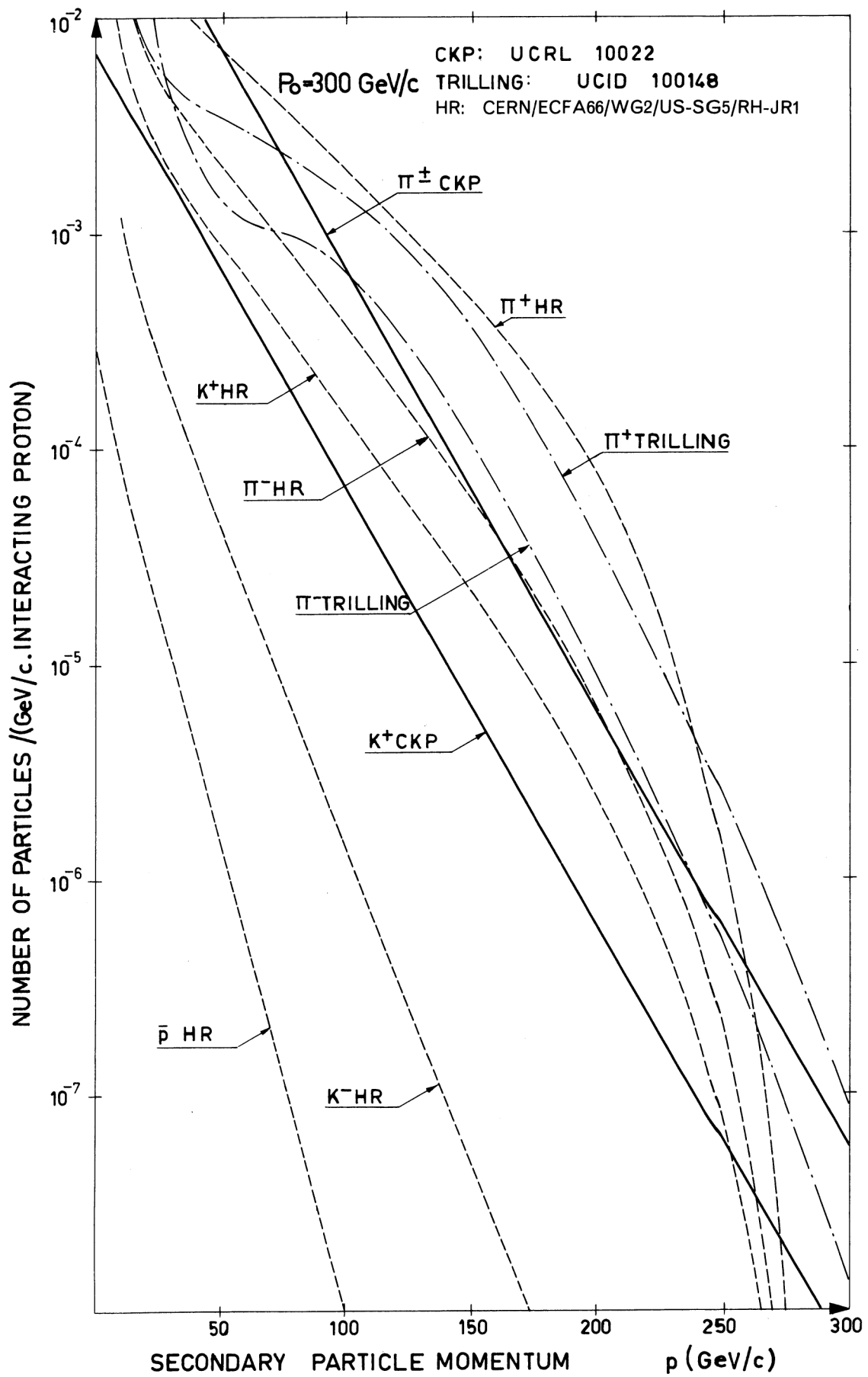
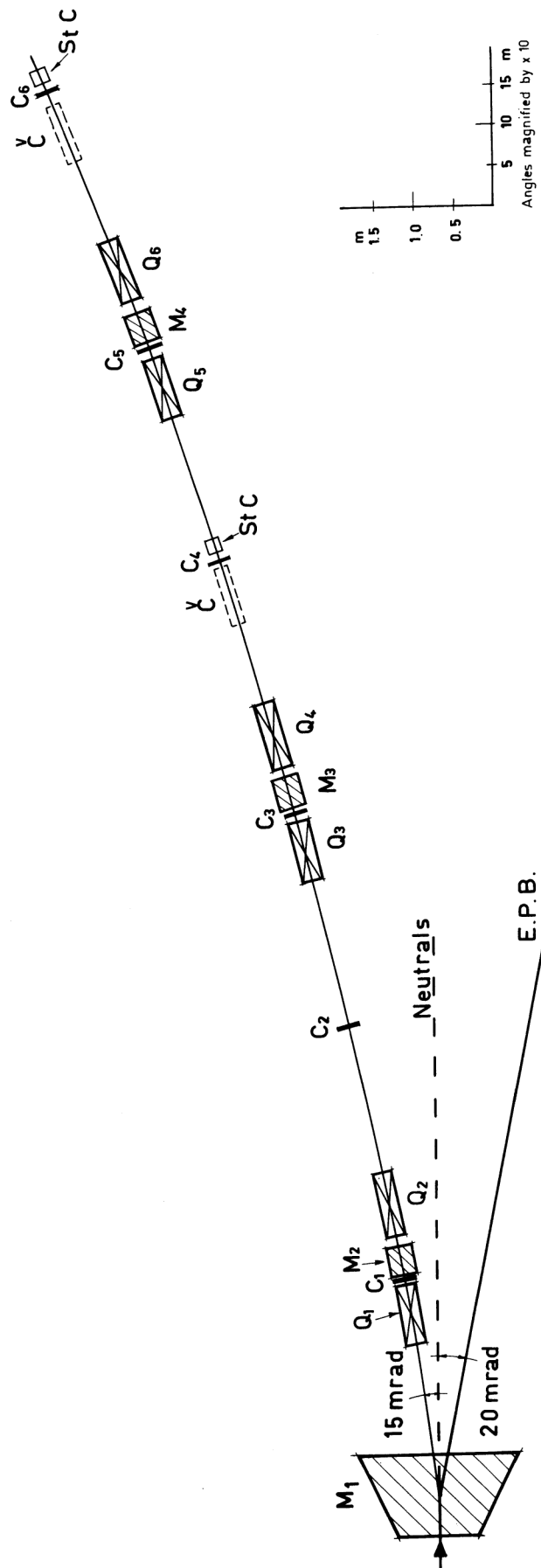


Fig. 1 Secondary particle production spectra
 Spectres d'émission des particules secondaires



- M_1 — Target-station magnet, for example, at TS 3 in Fig. 13
 M_2, M_3, M_4 — Spectrometer magnets set for negative particles of fractional charge
 Q_1-Q_6 — Quadrupoles
 C_1-C_6 — Scintillation counters set to record minimum ionizing particles of fractional charge and to define trajectories
 $St\ C$ — Streamer chambers for ionization measurements
 \check{C} — Threshold gas Čerenkov counters
 $E.P.B.$ — External proton beam

- M_1 — Aimant de cible situé, par exemple, en TS 3 sur la Fig. 13
 M_2, M_3, M_4 — Ensemble d'aimants d'analyses pour les particules négatives de charge fractionnaire
 Q_1-Q_6 — Quadripôles
 C_1-C_6 — Ensemble de compteurs à scintillations pour identifier les particules de charge fractionnaire au minimum d'ionisation et définir leurs trajectoires
 $St\ C$ — «Streamer chambers» pour mesures d'ionisation
 \check{C} — Compteurs Čerenkov gazeux à seuil
 $E.P.B.$ — Faisceau de protons externe

Fig. 2 Layout for proposed quark experiment
Dispositif proposé pour l'expérience quark

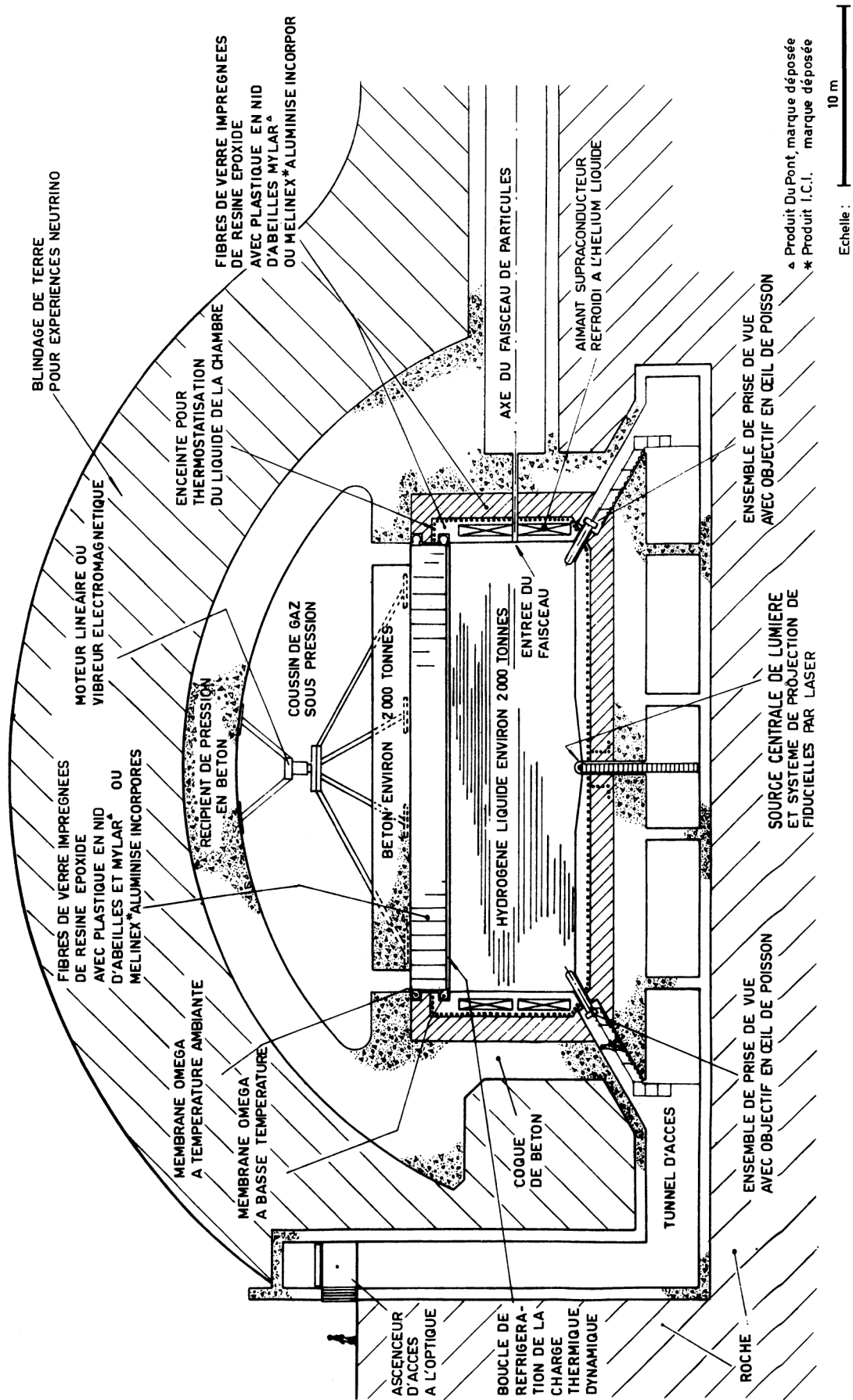
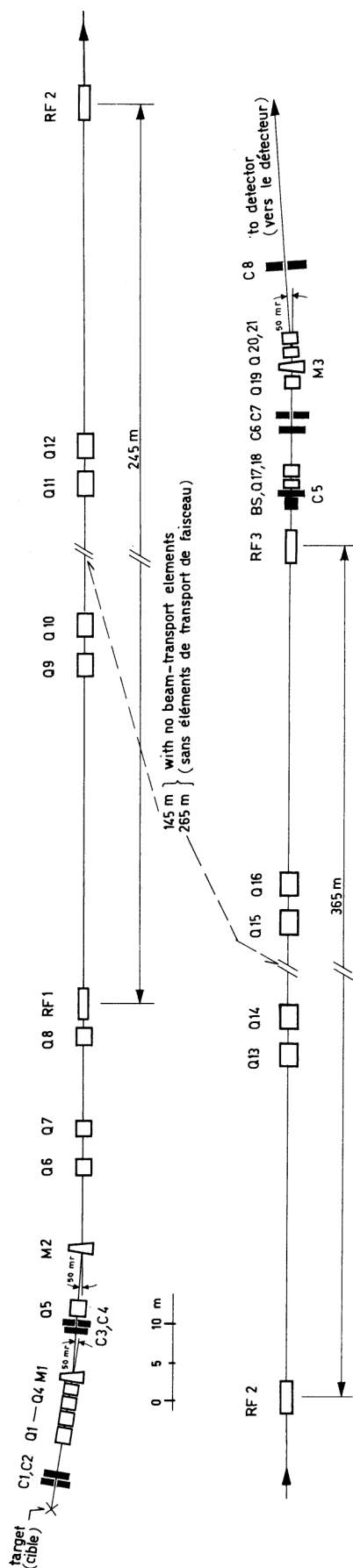


Fig. 3 Avant-projet d'une très grande chambre à bulles à hydrogène liquide

a - LAYOUT (DISPOSITION)



b - OPTICS (OPTIQUE)

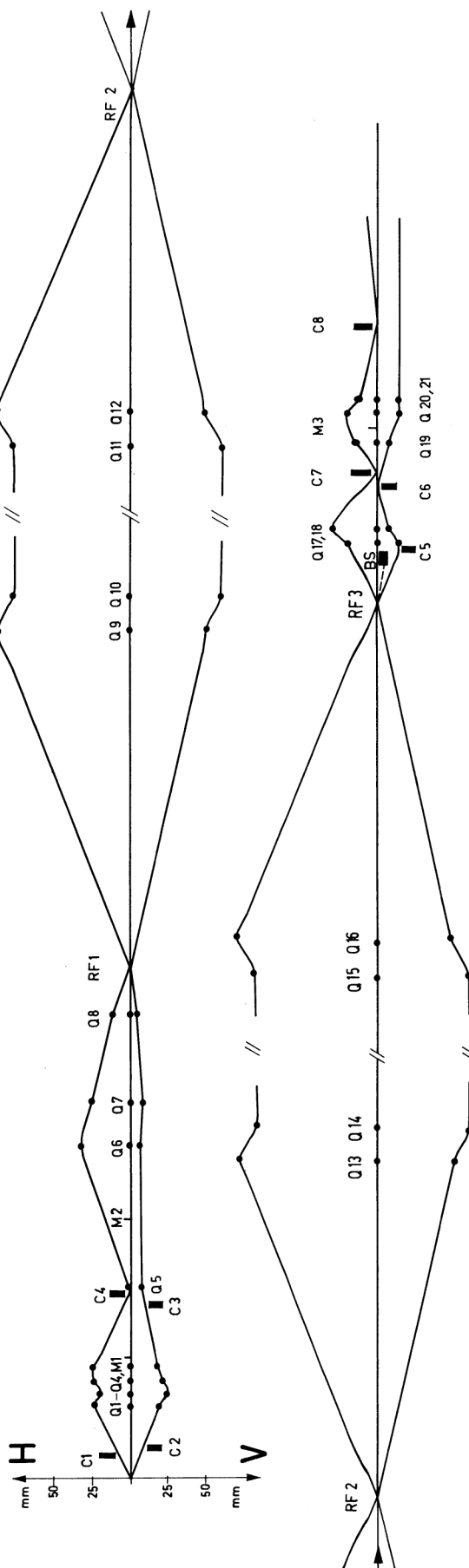
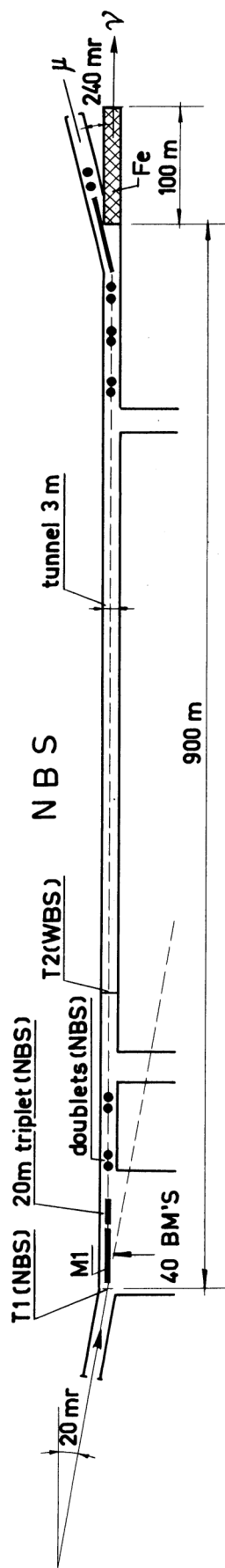


Fig. 4 A 100 GeV/c 3-cavity RF separated beam
Faisceau de 100 GeV/c séparé par 3 cavités HF

PLAN



WBS

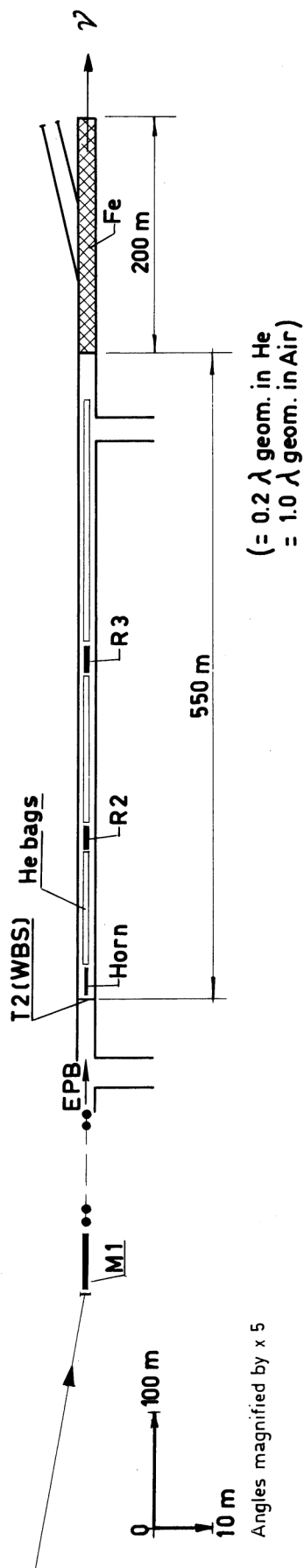


Fig. 5 Suggested layouts for narrow and wide-band neutrino beams
Dispositions proposées pour des faisceaux de neutrinos à bandes étroite ou large

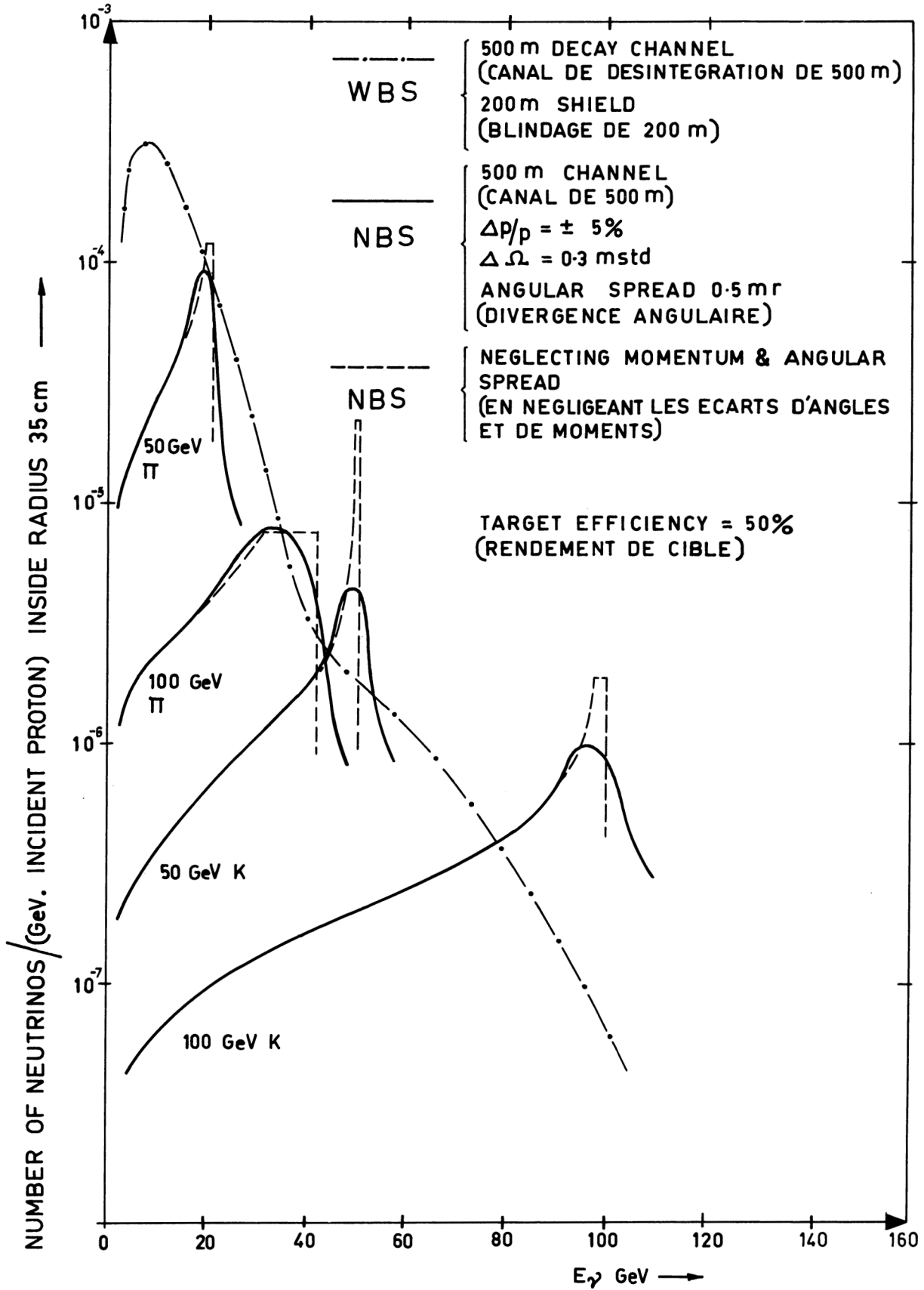


Fig. 6 Neutrino fluxes at the 300 GeV accelerator
Flux de neutrinos pour un accélérateur de 300 GeV

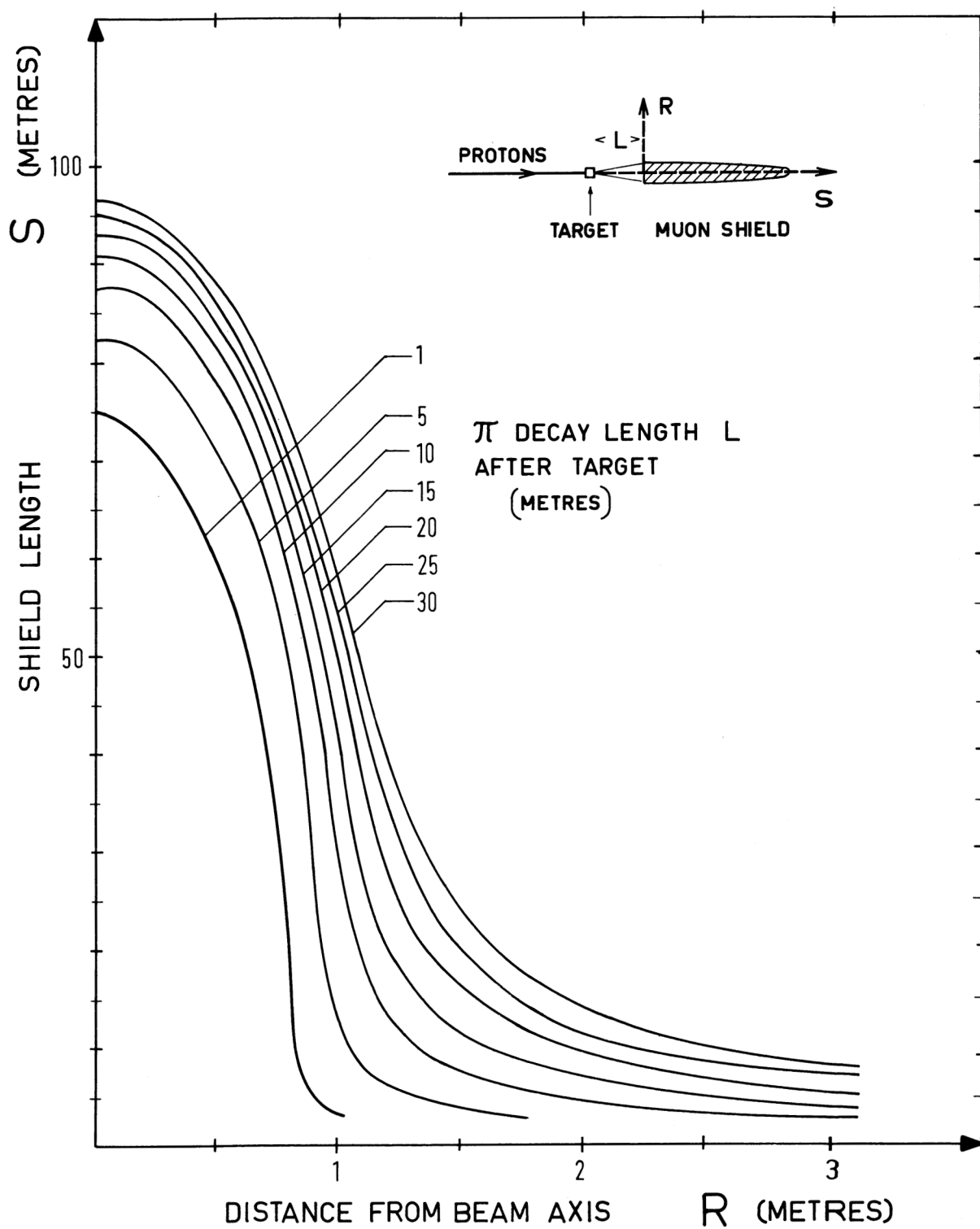


Fig. 7 Effect of drift length between target and muon shield
Effet de la distance entre la cible et le blindage de muons

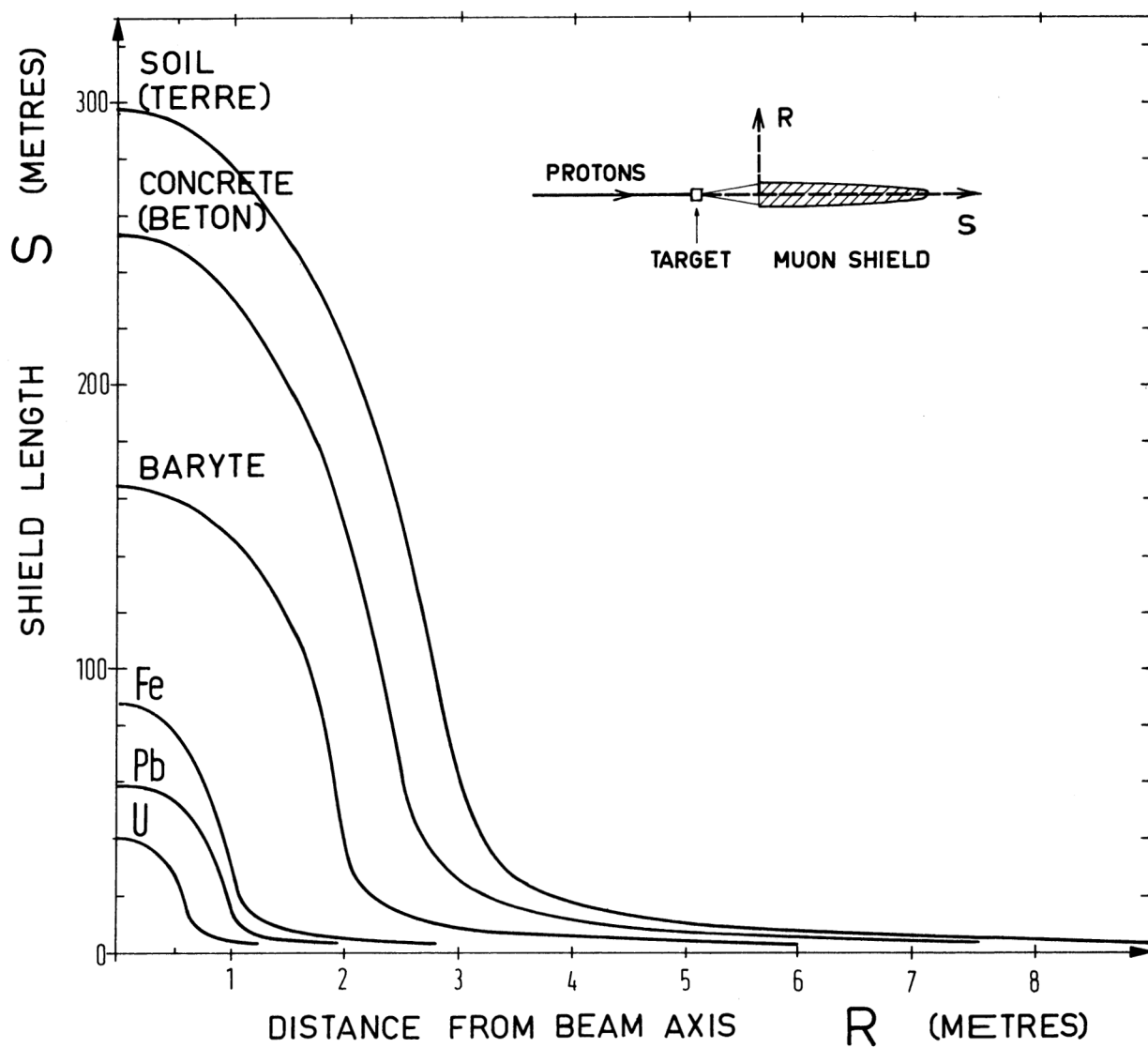


Fig. 8 Shape of muon shield for different materials
 Forme d'un blindage de muons suivant les matériaux utilisés

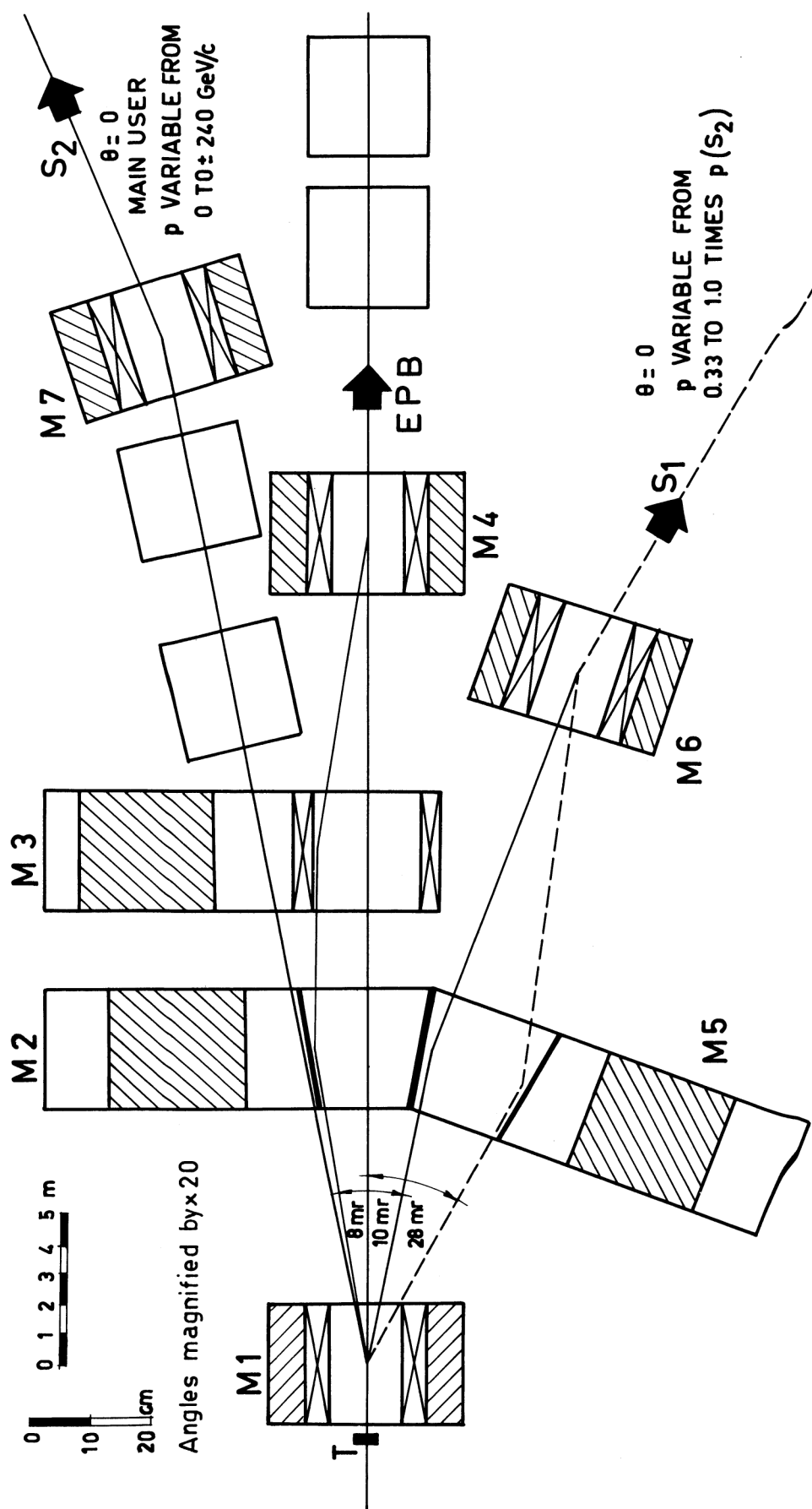
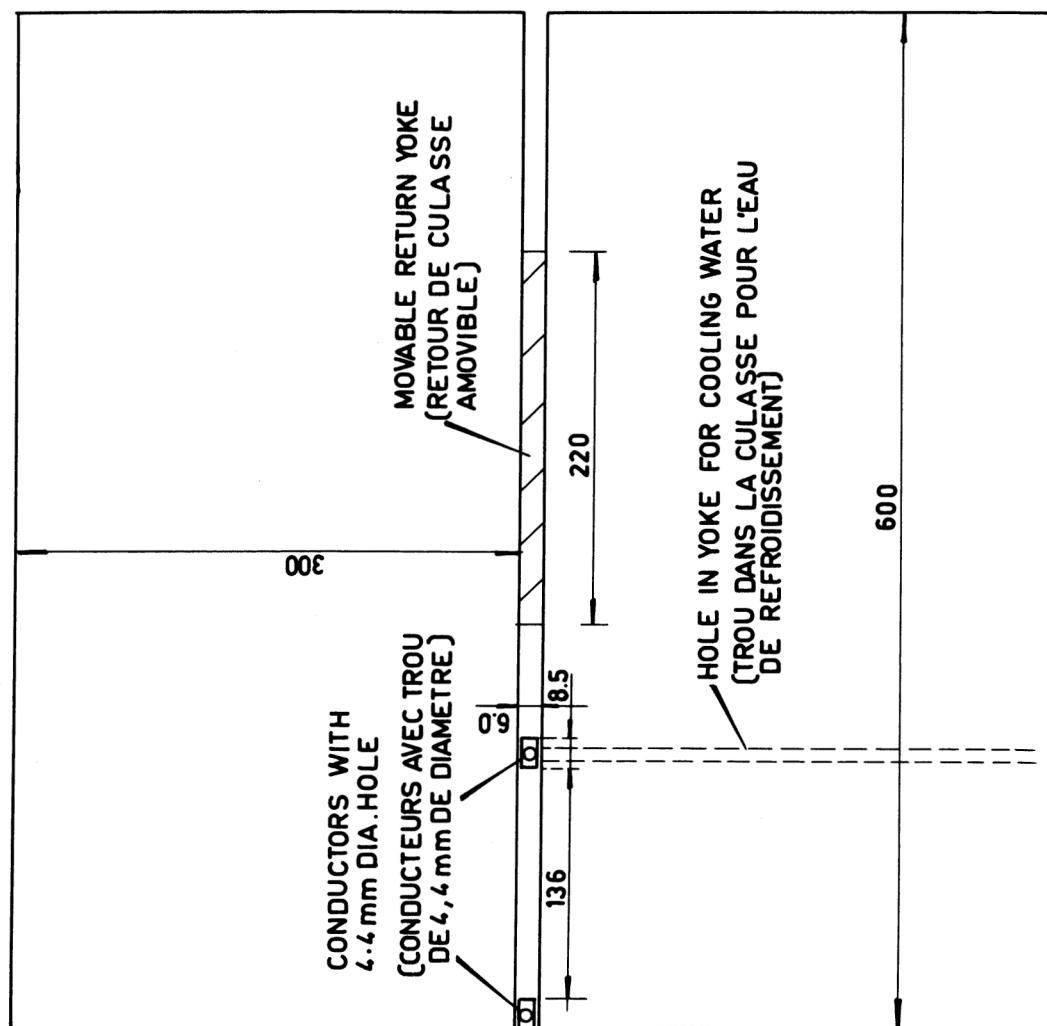


Fig. 9 Achromatic-quartet target station
Poste de cible à quartet achromatique



DIMENSIONS IN mm

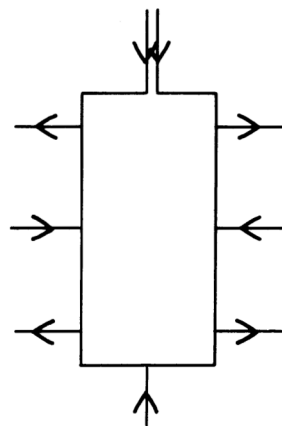
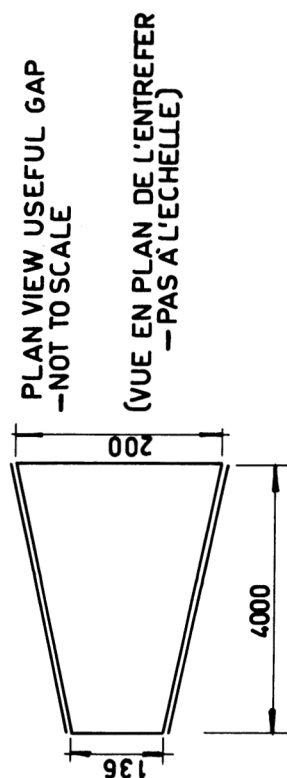
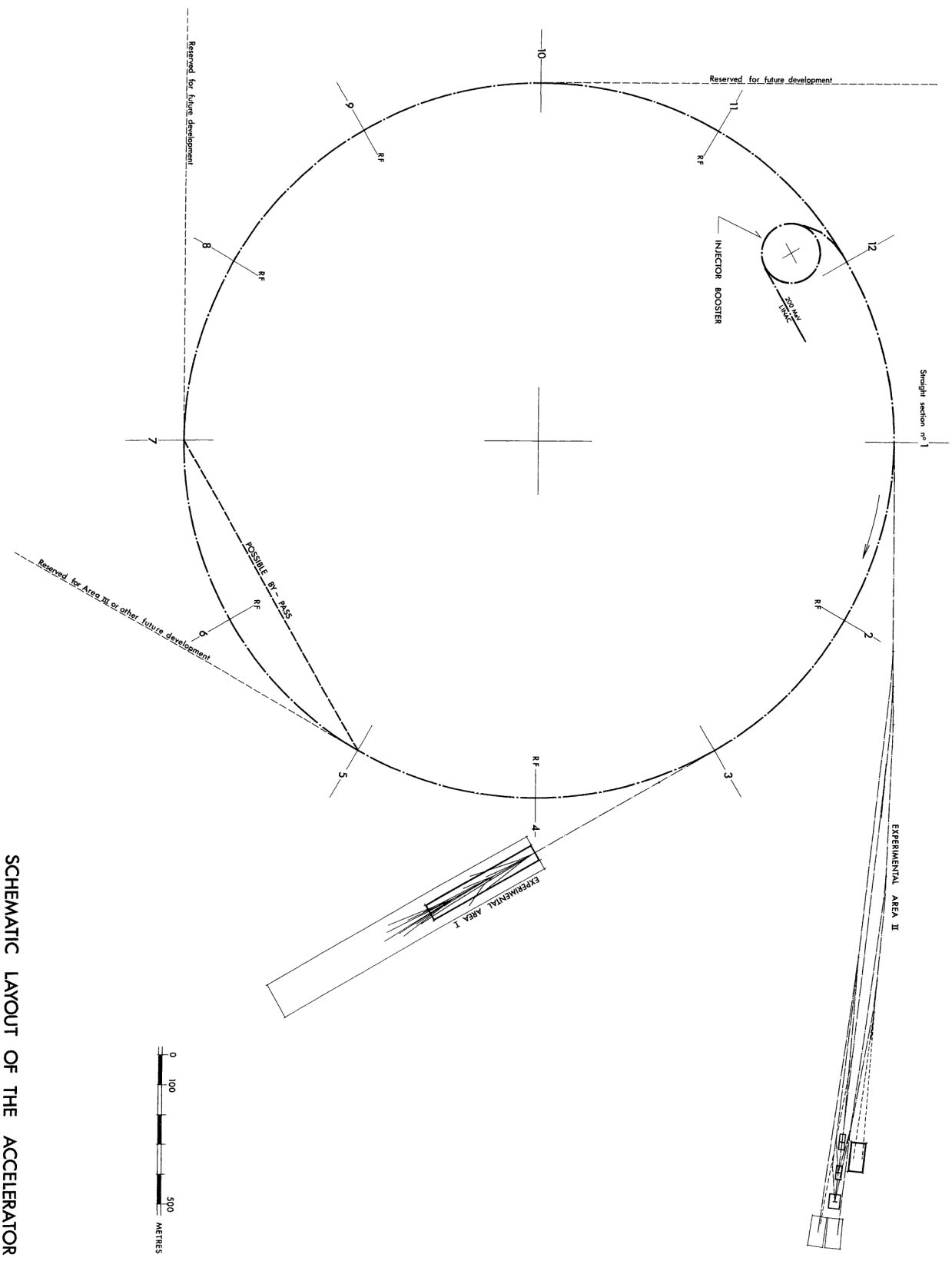


DIAGRAM OF 8 COOLING CIRCUITS PER TURN
(DIAGRAMME DES 8 CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT PAR TOUR)

1/4 SCALE SECTION AT UPSTREAM FACE
(SECTION A L'ECHELLE 1/4 A LA FACE D'ENTREE DU FAISCEAU)

Fig. 10 Target-station sandwich magnet
Aimant en sandwich pour poste de cible



SCHEMATIC LAYOUT OF THE ACCELERATOR

Fig. 11 Schematic layout of the accelerator
Plan de l'accélérateur

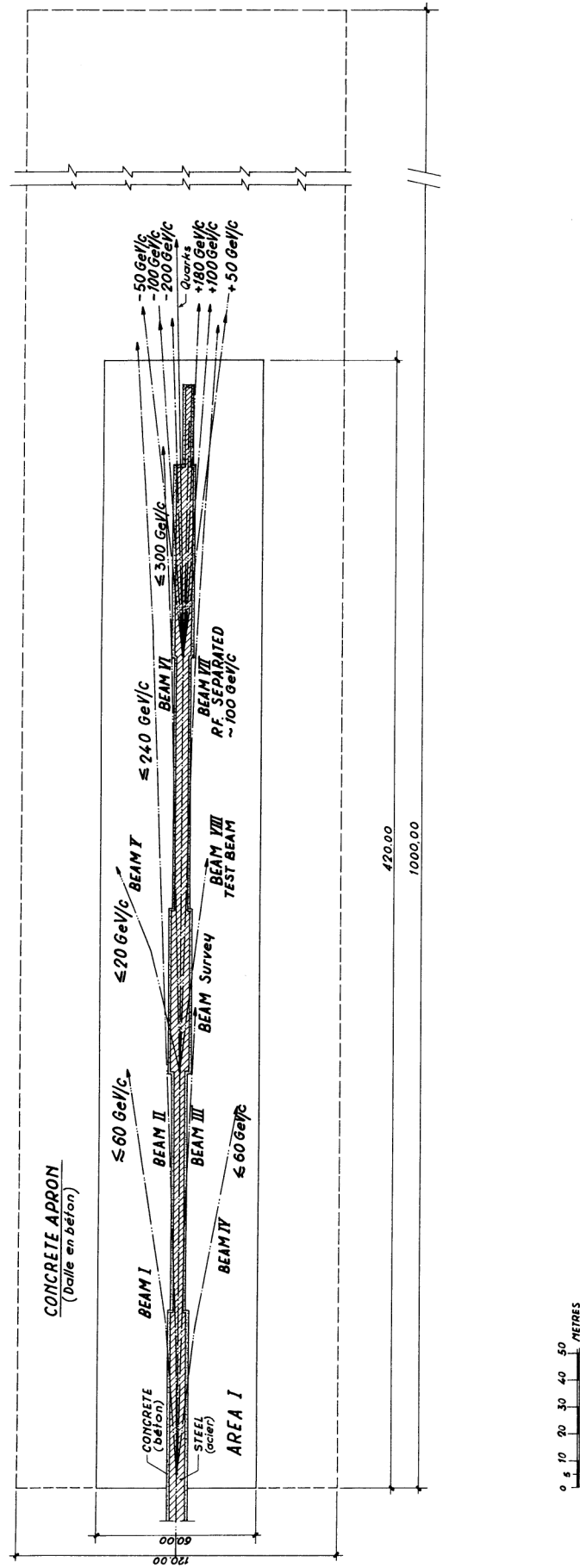


Fig. 12 Experimental area I
Zone expérimentale I

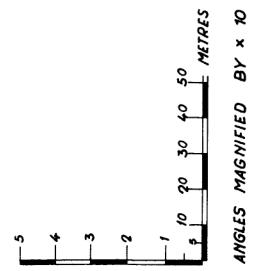
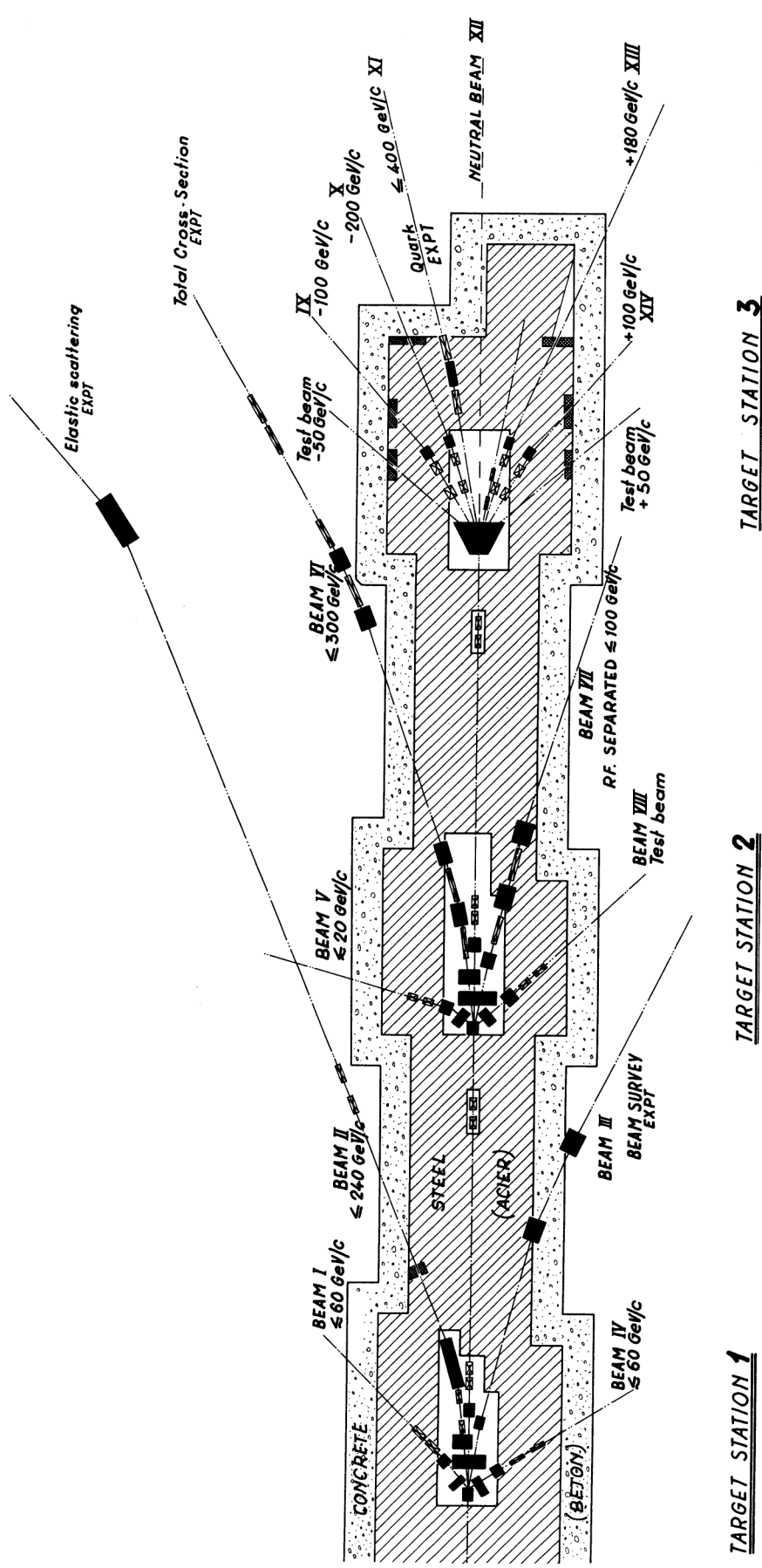


Fig. 13 Target stations of experimental area I
Postes de cibles pour la zone expérimentale I

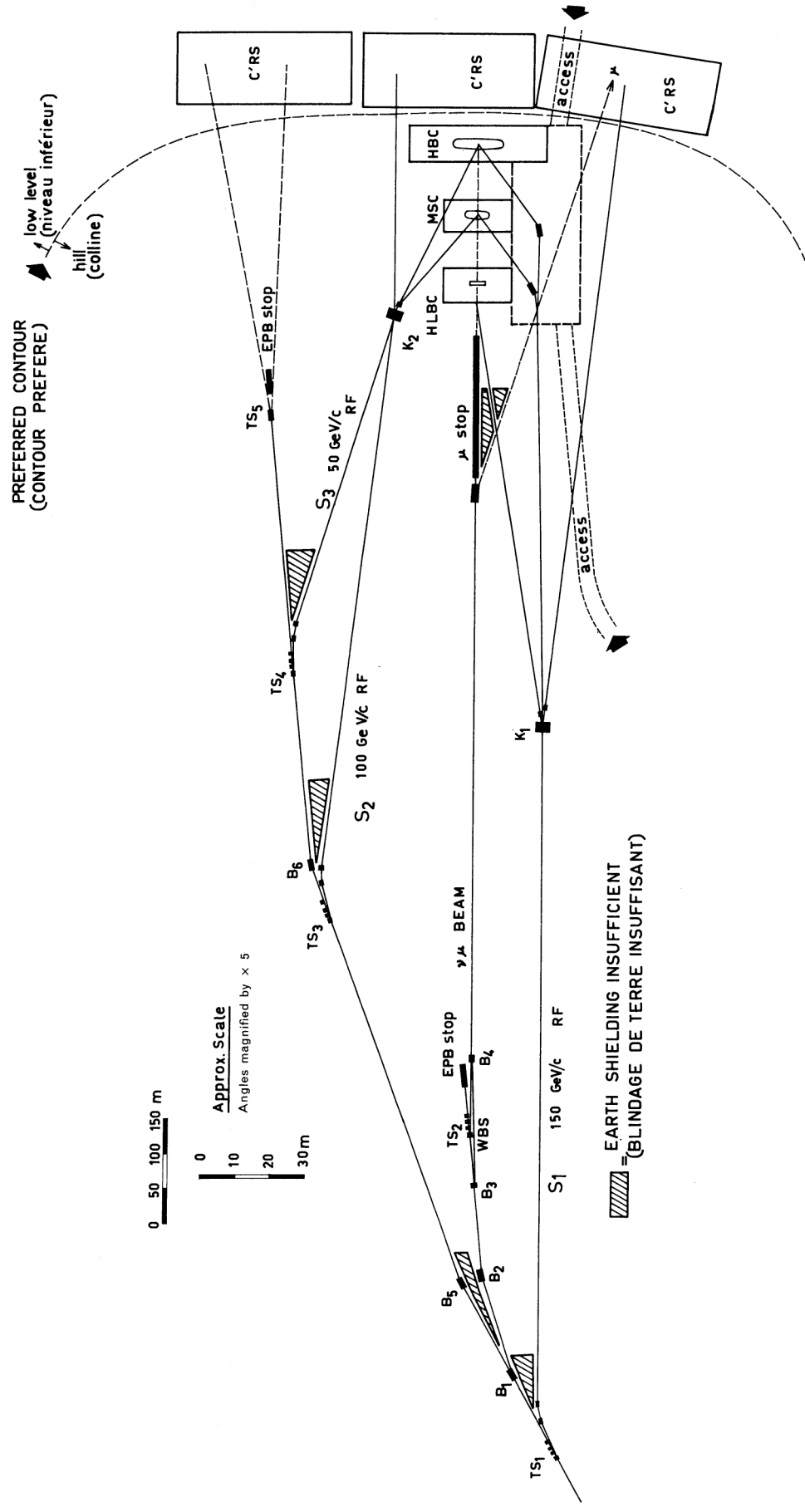


Fig. 14 Layout for experimental area II
Disposition de la zone expérimentale II

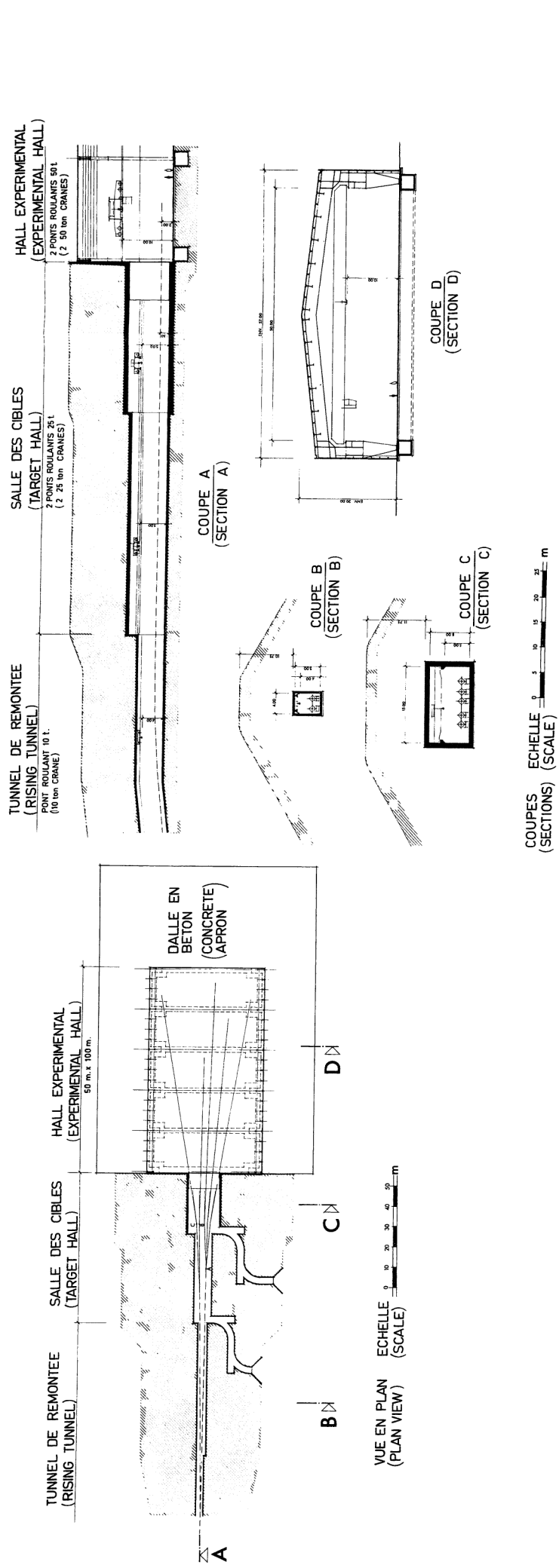


Fig. 15 Area III: target and experimental halls
Zone III: halls de cibles et d'expérience

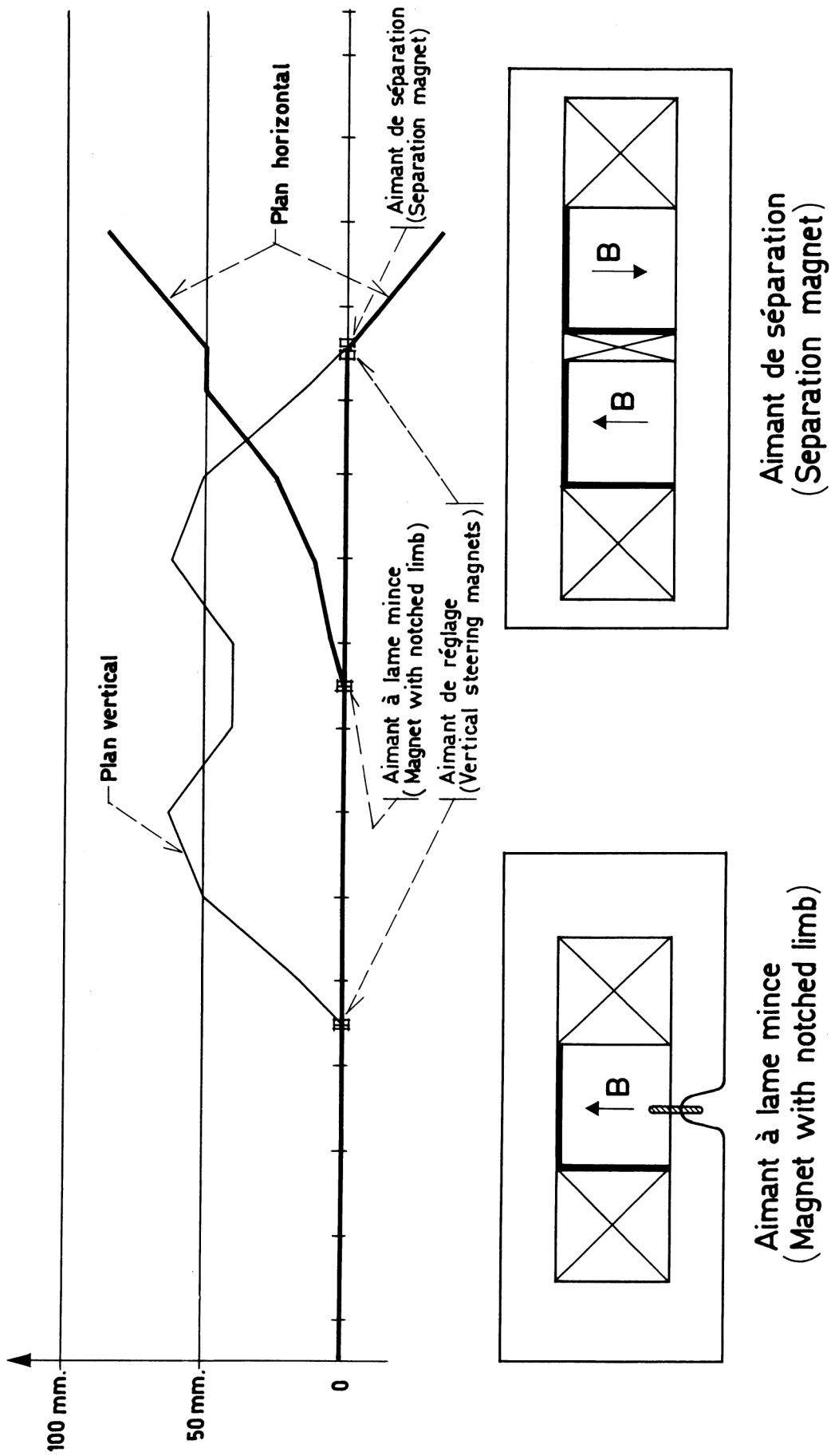


Fig. 16 Area III: beam splitting and separation
 Zone III: découpage et séparation des faisceaux

ANNEXE 5

RENSEIGNEMENTS RELATIFS A LA RÉPARTITION DES PHYSICIENS PAR AGE, AINSI QUE LE MATÉRIEL DISPONIBLE POUR L'ANALYSE DES DONNÉES DANS LES ÉTATS MEMBRES DU CERN, LE 1^{er} JANVIER 1967

1. Répartition par âge des physiciens au CERN et dans les Etats Membres

Le questionnaire envoyé par l'ECFA en octobre 1966, au CERN et à la totalité des universités et instituts de recherche dans les Etats Membres du CERN où l'on effectue des travaux en physique des hautes énergies, permet d'obtenir la répartition par âge des physiciens en question, ainsi que le nombre de ceux qui possèdent l'équivalent d'un doctorat.

Les répartitions ainsi obtenues figurent au Tableau I de l'Annexe pour les théoriciens, au Tableau II pour les expérimentateurs. Le nombre de ceux qui sont du niveau du doctorat est donné entre parenthèses. Les chiffres relatifs aux quatre principaux Etats Membres sont indiqués séparément. Pour les neuf petits Etats Membres les chiffres ont été totalisés; sans quoi ils seraient trop faibles pour permettre d'en tirer des conclusions. On n'a inscrit aucun chiffre pour la physique appliquée, car les données sont incomplètes.

Pour parvenir aux chiffres ainsi présentés, il a fallu faire certaines estimations. Les répartitions par âge étaient données de façon très précise dans les questionnaires dûment remplis, mais un certain nombre d'instituts n'ont pas précisé le nombre des physiciens ayant atteint le niveau du doctorat. Ce nombre a été déduit des données complètes provenant d'autres instituts du même pays et relatives au même groupe d'âge.

En comparant les répartitions par âge dans les différents sous-groupes, on voit qu'elles sont très analogues pour la France, l'Italie et les petits pays. La principale catégorie est celle de 25-29 ans, tandis que la catégorie de 20-24 ans compte entre le tiers et la moitié de celle-ci. En Allemagne, il n'y a pratiquement aucun physicien qui ait obtenu son premier diplôme universitaire avant l'âge de 25 ans. Au Royaume-Uni, au contraire, la courbe d'âge s'abaisse, de sorte que le maximum est déjà atteint avant 25 ans. Cette caractéristique est particulièrement marquée dans les chiffres indiqués, car la ligne de démarcation entre les deux catégories est fixée à 25 ans, qui est très proche du maximum de la distribution.

Les physiciens de plus de 30 ans, soit 45% du total environ, ont généralement un doctorat ou l'équivalent dans tous les pays considérés. En fait, 84% des théoriciens et 84% des expérimentateurs de 30 ans et plus ont l'équivalent d'un doctorat.

Dans le groupe d'âge le plus jeune, de 20-24 ans, les physiciens du niveau du doctorat ne représentent qu'un faible pourcentage.

TABLEAU I
Physiciens théoriciens

	Age en années au 1 ^{er} janvier 1967					Total
	20-24	25-29	30-34	35-39	40 et plus	
Allemagne	4(0)	38(23)	28(20)	16(9)	6(6)	92(58)
France	22(0)	46(9)	19(9)	19(19)	11(11)	117(48)
Italie	12(6)	84(65)	45(41)	29(26)	13(13)	183(151)
Royaume-Uni	102(2)	47(26)	28(26)	10(8)	13(13)	200(75)
Les neuf petits pays réunis	27(7)	78(28)	48(33)	20(20)	17(16)	192(104)
Total	169(15)	293(151)	168(129)	94(82)	60(59)	784(436)

Note: Les chiffres entre parenthèses donnent l'effectif des physiciens, compris dans le total, qui ont l'équivalent d'un doctorat.

TABLEAU II
Physiciens expérimentateurs

	Age en années au 1 ^{er} janvier 1967					Total
	20-24	25-29	30-34	35-39	40 et plus	
Allemagne	2(0)	114(20)	45(27)	32(31)	16(16)	209(94)
France	53(0)	124(38)	91(64)	39(25)	48(45)	355(172)
Italie	28(4)	87(70)	62(62)	32(32)	23(20)	232(188)
Royaume-Uni	118(1)	103(61)	63(59)	27(26)	28(26)	339(173)
Les neufs petits pays réunis	33(0)	75(27)	37(23)	31(26)	21(19)	197(95)
Total	234(5)	503(216)	298(235)	161(140)	136(126)	1332(722)

Note: Les chiffres entre parenthèses donnent l'effectif des physiciens, compris dans le total, qui ont l'équivalent d'un doctorat.

2. Les moyens de calcul électronique au CERN et dans les Etats Membres

Il est difficile d'évaluer les moyens de calcul électronique. Au CERN et dans les Etats Membres, on utilise pour la physique des hautes énergies près de 45 types différents d'ordinateurs.

Pour donner une idée au moins approximative des moyens de calcul électronique au CERN et dans les Etats Membres, on a divisé les ordinateurs en trois groupes: les grands, les moyens et les petits. Le plus petit du groupe des grands est l'IBM 7090; le plus grand du groupe moyen est l'IBM 7074; et le plus grand du groupe des petits est l'IBM 360/30.

D'une manière générale, le prix d'achat d'un grand ordinateur dépasse 5 millions de francs. Celui d'un ordinateur moyen se situe entre 0,75 et 5 millions de francs.

Le temps total d'utilisation de l'ordinateur est souvent constitué par une somme de nombreux travaux de faible importance. Pour réaliser quelque normalisation, on a considéré que l'utilisation intégrale d'un seul ordinateur représente 4000 heures/année. Dans le questionnaire, on a indiqué pour certains ordinateurs une utilisation atteignant jusqu'à 8000 heures/année. En pareil cas, on ne les a comptés que comme un seul ordinateur en utilisation intégrale.

Les moyens de calcul électronique ainsi obtenus sont indiqués au Tableau III. Le nombre des petits ordinateurs a été arrondi à l'entier le plus proche. Pour les grands et les moyens, on a utilisé des fractions pour indiquer le nombre d'heures total.

TABLEAU III
Ordinateurs servant à la physique des hautes énergies, théorique, expérimentale et appliquée au CERN et dans les Etats Membres

(Un ordinateur peut correspondre soit à un ordinateur utilisé intégralement par un seul groupe, en ligne par exemple, soit à un total de 4000 heures/année sur un certain nombre d'ordinateurs différents)

	Grands ordinateurs	Ordinateurs moyens	Petits ordinateurs
Allemagne	2,0	2,8	6
France	2,2	5,6	2
Italie	0,6	1,9	4
Royaume-Uni	1,8	3,0	5
Les neuf petits pays réunis . . .	0,3	2,5	2
CERN	2,0	2,0	4
Total	8,9	17,8	23

3. Appareils de dépouillement et de mesure destinés à l'analyse des clichés provenant des chambres à étincelles et à bulles, au CERN et dans les Etats Membres

Le nombre des appareils de dépouillement et de mesure destinés à l'analyse des clichés provenant des chambres à étincelles et des chambres à bulles au CERN et dans les Etats Membres est indiqué au Tableau IV. Pour les neuf petits Etats on indique les totaux.

Les nombres des appareils de dépouillement, des digitaliseurs à plan de film et des digitaliseurs à plan d'image sont donnés séparément et chacun de ces groupes a été subdivisé en deux sous-groupes, les appareils servant à l'analyse des photographies provenant des chambres à étincelles (SC) et ceux servant à l'analyse des photographies provenant des chambres à bulles (BC).

TABLEAU IV

Nombre des appareils de dépouillement et de mesure servant à l'analyse des clichés provenant des chambres à étincelles (SC) et des chambres à bulles (BC) au CERN et dans les Etats Membres, au 1^{er} janvier 1967 et au 1^{er} janvier 1968

	appareils de dépouillement		digitaliseurs à plan de film		digitaliseurs à plan d'image	
	SC	BC	SC	BC	SC	BC
Disponibles au 1^{er} janvier 1967						
Allemagne	5	32	—	15	6	9
France	15	69	2	32	2	21
Italie.	9	57	—	10	10	41
Royaume-Uni.	13	47	—	29	10	11
Les neuf petits pays réunis . .	—	31	—	13	—	4
CERN	7	14	—	9	13	5
Total.	49	250	2	108	41	91
A installer en 1967						
Allemagne	—	—	—	6	2	—
France	—	1	—	4	—	1
Italie.	—	1	—	3	1	14
Royaume-Uni.	—	3	—	5	—	11
Les neuf petits pays réunis . .	1	20	—	6	1	5
CERN	—	—	—	—	—	1
Total.	1	25	—	24	4	32
Total disponible au 1^{er} janvier 1968 au CERN et dans les Etats Membres	50	275	2	132	45	123
Nombre total des appareils destinés à l'analyse des clichés provenant des chambres à bulles ainsi que des chambres à étincelles, dont on disposera au CERN et dans les Etats Membres au 1 ^{er} janvier 1968	325		134		168	

Le Tableau est divisé en deux parties, la moitié supérieure indiquant la situation au 1^{er} janvier 1967, la moitié inférieure montrant les nouvelles installations prévues au cours de 1967.

Le nombre total des appareils dont on escompte qu'ils seront en service au 1^{er} janvier 1968 apparaît dans les deux dernières lignes du Tableau. Avec le nombre total des appareils de dépouillement, on peut obtenir le nombre des clichés traités, en supposant qu'un seul

appareil en dépouille environ 25 000 par an. Ce chiffre correspond à environ 8 à l'heure. Les 325 appareils de dépouillement existant au 1^{er} janvier 1968 ont donc une capacité totale d'environ 8 millions de clichés par an.

Avec un appareil à mesurer, on peut traiter environ 10 000 événements par an. Les 302 appareils de ce type existant au 1^{er} janvier 1968 ont donc une capacité totale de 3 millions d'événements par an.

Les machines automatiques ne sont pas examinées sous ce titre.

4. Machines automatiques de mesure destinées à l'analyse des clichés des chambres à étincelles et des chambres à bulles, au CERN et dans les Etats Membres

Les digitaliseurs automatiques sont énumérés sous ce titre. Il en existe un certain nombre de types assez différents, qui ont néanmoins en commun les caractéristiques suivantes. Ils digitalisent un cliché de chambre à étincelles ou de chambre à bulles de façon entièrement automatique et avec une grande précision. Leurs mesures sont, au moins en partie, immédiatement traitées par un ordinateur en ligne. Une certaine intervention de l'opérateur est d'ordinaire requise pour indiquer le cliché et les parties à en mesurer.

L'intervention de l'opérateur est essentielle dans la mesure au SMP (projecteur de dépouillement et de mesure) qui est en fait un digitaliseur semi-automatique à plan d'image. L'expérience limitée acquise jusqu'ici enseigne qu'on peut évaluer à une vingtaine de mille les événements qu'un SMP peut mesurer chaque année. La capacité totale des 12 appareils disponibles au CERN et dans les Etats Membres, énumérés au Tableau V, est donc d'environ 250 000 événements par an.

TABLEAU V

Projecteurs de dépouillement et de mesure (SMP) en exploitation au CERN
et dans les Etats Membres au 1^{er} janvier 1967
Pas de nouvelle installation prévue en 1967

Lieu	Nombre de SMP	Catégorie d'ordinateur en ligne
Paris (France)	5	CDC 3200
Heidelberg (Allemagne)	4	IBM 7040
Glasgow (R.U.)	3	IBM 7044

Le dépouillement et la mesure entièrement automatiques sont en principe possibles avec les digitaliseurs à spot volant, mais en fait, ceci n'a été réalisé que dans des expériences isolées et seulement pour des clichés de chambre à étincelles.

Le point lumineux volant s'obtient mécaniquement dans le HPD (dispositif Hough Powell) ou au moyen d'un tube cathodique dans le CRT (appareil à tube cathodique) et le PEPR (appareil de précision pour le codage et la reconnaissance des schémas). De plus, avec le PEPR, la position du point lumineux peut être commandée par l'ordinateur en ligne.

La capacité de mesure d'un digitaliseur à spot volant atteint en principe une centaine de milliers d'événements par an, quand il est en parfait état de marche. Le système CRT sert exclusivement à analyser les clichés de chambre à étincelles.

Les digitaliseurs à spot volant en service au 1^{er} janvier 1967 au CERN et dans les Etats Membres, ainsi que ceux à installer en 1967, sont énumérés au Tableau VI.

En outre, deux machines automatiques d'un type différent — système Vidicon pour l'analyse des clichés de chambre à étincelles — sont actuellement en construction, l'une au Royaume-Uni et l'autre au CERN.

TABLEAU VI

Digitaliseurs à spot volant au CERN et dans les Etats Membres

Lieu	Catégorie
En service au 1^{er} janvier 1967	
Paris (France)	HPD
Saclay (France)	HPD
Hambourg (Allemagne).	CRT
Bologne (Italie)	HPD
Chilton (R. U.)	HPD
Chilton (R. U.)	CRT
CERN	HPD
CERN	CRT
A installer en 1967	
Aix-la-Chapelle (Allemagne)	CRT
Munich (Allemagne)	HPD
Hambourg (Allemagne).	HPD
Frascati (Italie)	CRT
Amsterdam (Pays-Bas)	HPD
Nimègue (Pays-Bas)	PEPR
Oxford (R. U.)	PEPR
Londres (R. U.)	HPD
Birmingham (R. U.)	HPD
Chilton (R. U.)	HPD
CERN	HPD

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00078067